



PROPOSTA DE L'ENGINYERIA I DEL MODEL DE SERVEI ELÈCTRIC PER A 5 COMUNITATS RURALS A GHANA

JOAN CORTÉS OLEA

Tutoria i supervisió de: Dr. ENRIQUE VELO GARCIA
Sr. POL ARRANZ PIERA

BARCELONA, DESEMBRE 2014



Treball de fi de màster

Resum (250/500 paraules)

L'Àfrica subsahariana és la regió del món amb més persones sense accés a l'electricitat i on el consum energètic de moltes de les persones que hi viuen depèn de la biomassa llenyosa per a la cocció i la calefacció. I Ghana no n'és un excepció dins d'aquesta realitat, malgrat ser un dels països que més s'ha involucrat en aconseguir l'accés universal a l'electricitat i a formes d'energia modernes. En un país, on la població rural és gairebé la meitat de la població total i a més a més es troba molt dispersa en el territori, el cost de donar accés a aquest sector de la població és econòmicament inviable amb un model convencional de generació centralitzada.

El treball que es presenta s'emmarca dins del projecte de preinversió: <<Feasibility study and detailed en-gineering of small scale biomass gasification mini grids for electricity services in rural communities in Ghana>> dirigit per l'ONG local Kumasi Institute of Technology and Environment (KITE) en col·laboració amb The Energy Center de la Kwame Nkrumah University of Science and Technology (TEC-KNUST) de Ghana i la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Aquest projecte tracta de dur a terme un estudi de viabilitat per avaluar la conversió dels recursos de biomassa, en forma de residus agrícoles, a través d'un sistema de gasificació de biomassa per proporcionar electricitat a cinc comunitats rurals desconnectades de la xarxa. Concretament, el document que es presenta és la concreció d'una proposta tècnica preliminar (avantprojecte) del servei elèctric per a cadascuna de les 5 comunitats beneficiàries per a desenvolupar, posteriorment, una proposta definitiva.

Abans, però, de realitzar la proposta tècnica, ha fet falta conèixer el context de les 5 comunitats objectiu, tant a nivell geogràfic com socioeconòmic, a més a més de conèixer la realitat energètica de totes 5, tant a nivell de formes energètiques com dels seus usos per part de la població. Posteriorment, ha estat necessari fer una estimació de la demanda en un horitzó de 10 anys a partir dels consums d'una sisena comunitat de característiques semblants a les beneficiàries, però amb accés a l'electricitat. Per poder cobrir aquesta demanda elèctrica estimada de les comunitats, ha estat necessari també estudiar quines fonts energètiques renovables (d'acord al marc de treball del projecte) hi ha disponibles a les comunitats per a la generació d'electricitat.

Un cop s'han recopilat totes les dades, s'han introduït dins d'un model computacional per cadascuna de les 5 comunitats construït amb l'ajuda del software HOMER. S'han simulat aquests models i s'han obtingut uns resultats optimitzats. En base a aquests resultats obtinguts amb HOMER, s'ha elaborat la proposta tècnica.

Finalment, s'han elaborat unes conclusions amb aquells aspectes que s'ha considerat destacar de la proposta, juntament amb un conjunt d'aspectes i recomanacions a considerar per l'elaboració de la proposta tècnica definitiva del projecte. De les conclusions extretes, destacar la viabilitat tècnica d'utilitzar la gasificació de residus provinents del cultiu d'aliments en aquelles comunitats de Ghana on hi hagi cultius de blat de moro o fruits amb closca, com el cacauet.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Institut Universitari de Recerca en Ciència
i Tecnologies de la Sostenibilitat

Paraules clau

Micro-xarxes	Rural
Gasificació	Electrificació
Biomassa	Ghana



L'electricitat és el cordó umbilical del món.

Carles Plana

RESUM

L'any 2012, la Assemblea General de les Nacions Unides va designar aquell any com l'Any Internacional de l'Energia Sostenible per a Tothom ["Sustainable Energy for All" (SE4All)]. Cada vegada més, s'és més conscient que l'energia és motor de canvi, és un element transformador de qualsevol societat humana, i que la lluita per la dignitat de les persones i de la humanitat va lligada a l'accés a l'energia sostenible.

L'Àfrica sudsahariana és la regió del món amb més persones sense accés a l'electricitat i on el consum energètic de moltes de les persones que hi viuen depèn de la biomassa llenyosa per a la cocció i per a la calefacció. I Ghana no n'és un excepció dins d'aquesta realitat, malgrat ser un dels països que més s'ha involucrat en aconseguir l'accés universal a l'electricitat i a formes d'energia modernes. En un país, on la població rural és gairebé la meitat de la població total i a més a més es troba molt dispersa en el territori, el cost de donar accés a aquest sector de la població és econòmicament inviable amb un model convencional de generació centralitzada.

El treball que es presenta s'emmarca dins del projecte de preinversió: <<Feasibility study and detailed engineering of small scale biomass gasification mini grids for electricity services in rural communities in Ghana>> dirigit per l'ONG local Kumasi Institute of Technology and Environment (KITE) en col·laboració amb The Energy Center de la Kwame Nkrumah University of Science and Technology (TEC-KNUST) de Ghana i la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Aquest projecte tracta de dur a terme un estudi de viabilitat per avaluar la conversió dels recursos de biomassa, en forma de residus agrícoles, a través d'un sistema de gasificació de biomassa per proporcionar electricitat a cinc comunitats rurals desconnectades de la xarxa. Concretament, el document que es presenta és la concreció d'una proposta tècnica preliminar (avantprojecte) del servei elèctric per a cadascuna de les 5 comunitat beneficiàries per a desenvolupar, posteriorment, una proposta definitiva.

Abans, però, de realitzar la proposta tècnica, ha fet falta conèixer el context de les 5 comunitats objectiu, tant a nivell geogràfic com socioeconòmic, a més a més de conèixer d'on es parteix, és a dir, la realitat energètica de totes 5, tant a nivell de formes energètiques com dels seus usos per part de la població. Posteriorment, ha estat necessari fer una estimació de la demanda en un horitzó de 10 anys a partir dels consums d'una sisena comunitat de característiques semblants a les beneficiàries, però amb accés a l'electricitat. Per poder cobrir aquesta demanda elèctrica estimada de les comunitats, ha estat necessari també estudiar quines fonts energètiques renovables (d'acord al marc de treball del projecte) hi ha disponibles a les comunitats per a la generació d'electricitat.

Un cop s'han recopilat totes les dades, s'han introduït dins d'un model computacional per cadascuna de les 5 comunitats construït amb l'ajuda del *software* HOMER. S'han simulat aquests models i s'han obtingut uns resultats optimitzats. En base a aquest resultats obtinguts de la simulació amb HOMER, s'ha elaborat la proposta tècnica.

Finalment, s'han elaborat unes conclusions amb aquells aspectes que s'ha considerat destacar de la proposta, juntament amb un conjunt d'aspectes i recomanacions a considerar per l'elaboració de la proposta tècnica definitiva del projecte. De les conclusions extretes, destacar la viabilitat tècnica d'utilitzar la gasificació de residus provinents del cultiu d'aliments en aquelles comunitats de Ghana on hi hagi cultius de blat de moro o fruits amb closca, com el cacauet.

Paraules clau: *micro-xarxes, gasificació, biomassa, rural, electrificació, Ghana.*

ABSTRACT

2012 was designated by the United Nations General Assembly as the International Year of Sustainable Energy for All (SE4All). Increasingly, it is aware that energy is a force of changing, a transforming element for any human society, and the struggle for people and human dignity is linked to the access to the sustainable energy.

South-Saharan Africa is the region of the world with more people without access to electricity and where energy consumption of many people who live there relies on woody biomass for cooking and heating. Ghana is not an exception from this reality, despite being one of the countries that has been involved in achieving universal electricity access and modern forms of energy. In a country where rural population is nearly half of total population and also it is very dispersed across the country, the cost of providing access to this sector of the population is economically unfeasible with a centralized generation conventional model.

The present work is part of the pre-investment project: << Feasibility study and detailed in engineering of small-scale biomass gasification mini grids for electricity services in rural communities in Ghana >> run by the local NGO Kumasi Institute of Technology and Environment (KITE) in co-operation with The Energy Center at the Kwame Nkrumah University of Science and Technology (TEC-KNUST) of Ghana and the Polytechnic University of Catalunya (UPC). This project tries to get to a feasibility study in order to evaluate the conversion of biomass resources (in form of agricultural wastes) with a biomass gasification system to provide electricity to five rural communities disconnected from the national network. Specifically, the document presented is the realization of a preliminary technical proposal of the electrical service for each target community in order to develop a final proposal later.

Before making the technical proposal, three different elements have been object of study. First of all, the 5 target communities' context, as geographical as socioeconomic aspects, and also the energy situation for all 5: energy forms and their use by inhabitants. Secondly, the estimation of the power demands over a period of 10 years based on a sixth community consumption with similar characteristics to beneficiaries but with current electricity access. Thirdly, the study to realize which renewable energy resources (according to the framework of the project) are available in the communities for power generation.

Once all data has been gathered, this has been entered into a computing model for each community built with HOMER software. Such models have been simulated obtaining optimized results. Based on these results simulated with HOMER, the technical proposal was developed.

Finally, some conclusions have been drawn with those aspects considered to be emphasized from the proposal, along with a set of issues and recommendations to be considered for the preparation of the definitive technical proposal. From these conclusions, highlighting the technical feasibility of using waste gasification from food crops in those Ghanaian communities where maize or shell fruit, such as peanuts, are cultivated.

Keywords: *micro-grids, gasification, biomass, rural, electrification, Ghana.*

TAULA DE CONTINGUTS

RESUM	v
ABSTRACT	vii
TAULA DE CONTINGUTS	ix
LLISTAT DE TAULES	xi
LLISTAT DE GRÀFICS I FIGURES	xii
GLOSSARI	xiv
1. INTRODUCCIÓ	1
1.1. MARC DE TREBALL	1
1.1.1. Selecció de les comunitats beneficiàries	1
1.2. MOTIVACIÓ	1
1.3. OBJECTIUS I RESULTATS ESPERATS	3
1.4. CONTEXTUALITZACIÓ DEL PROJECTE	3
1.4.1. Context energètic a l'Àfrica subsahariana i concret de Ghana	3
1.4.2. Potencial energètic de la biomassa. El cas concret de Ghana	6
1.4.3. La gasificació	8
2. CONTEXT DE LES COMUNITATS	11
2.1. UBICACIÓ	11
2.2. CONTEXT SOCIOECONÒMIC	13
2.2.1. Ubicació de les construccions	14
2.3. CONTEXT ENERGÈTIC. FORMES D'ENERGIA I USOS	17
2.3.1. Residencial	17
2.3.2. Productiu	18
2.3.3. Cost energètic	18
3. CAS D'ESTUDI	20
3.1. DEMANDA DE POTÈNCIA I ENERGIA	20
3.1.1. Resultats de la previsió de la demanda elèctrica per Seneso	21
3.1.2. Resultats de la previsió de la demanda elèctrica per les 4 comunitats restants	22
3.2. RECURSOS ENERGÈTICS	24
3.2.1. Recursos Solars	25
3.2.2. Recursos de Biomassa	26
3.2.3. Altres fonts d'energia renovable	28
3.3. DESCRIPCIÓ PRELIMINAR DEL SISTEMA	28
3.4. DISSENY PRELIMINAR (HOMER)	30
3.4.1. Introducció a HOMER	30
3.4.2. Hipòtesis i valors de referència	30
3.4.3. Construcció de l'esquema del sistema	31
3.4.4. Escenaris de demanda energètica	31
3.4.5. Disponibilitat de recursos energètics	31
3.4.6. Equips de la instal·lació	33

3.5. UBICACIÓ DE LA INFRAESTRUCTURA DE GENERACIÓ	39
4. SOLUCIÓ TÈCNICA PROPOSADA.....	41
4.1. RESULTATS DE LA SIMULACIÓ AMB HOMER. VIABILITAT TÈCNICA DEL PROJECTE. 41	
4.1.1. Producció elèctrica resultant	42
4.1.2. Treball del camp fotovoltaic.....	45
4.1.3. Treball del grup gasificador-generador.....	46
4.1.4. Bateries	48
4.1.5. Ondulador-carregador de bateries.....	50
4.2. SOLUCIÓ TÈCNICA PROPOSADA	52
4.2.1. Subsistema de generació	53
4.2.2. Subsistema de distribució	61
4.2.3. Subsistema de consum	62
CONCLUSIONS.....	65
AGRAÏMENTS.....	67
REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES	69
ANNEX A. HIPÒTESIS UTILITZADES EN L'ESTIMACIÓ DEL COST ENERGÈTIC ACTUAL A LES COMUNITATS BENEFICIÀRIES	71
ANNEX B. PREVISIÓ DEL CREIXEMENT DEL NOMBRE DE LLARS I DE L'INCREMENT DEL NOMBRE DE SERVEIS SOCIO-ECONÒMICS A BONIAFO, BOMPA, JAMAN NKWANTA I NAKPAYE	72
ANNEX C. DEMANDA ELÈCTRICA SEGREGADA DE BONIAFO, BOMPA, JAMAN NKWANTA I NAKPAYE.....	74
ANNEX D. PLÀNOLS DELS RECURSOS SOLAR I EÒLIC DE GHANA	76
ANNEX E. CARACTERÍSTIQUES I DISPONIBILITAT DE BIOMASSA A LES COMUNITATS BENEFICIÀRIES. ESTIMACIÓ DE LA PRODUCCIÓ ELÈCTRICA POTENCIAL AMB GASIFICACIÓ.....	78
ANNEX F. UBICACIÓ DELS POSSIBLES EMPLAÇAMENTS ON ESTABLIR ELS PUNTS DE GENERACIÓ	81
ANNEX G. PLÀNOLS AMB LA PROPOSTA DE DISTRIBUCIÓ	97

LLISTAT DE TAULES

Taula 2.1. Comunitats objecte d'estudi.....	11
Taula 2.2. Seneso GPS Coordinates.....	11
Taula 2.3. Boniafo GPS Coordinates.....	11
Taula 2.4. Bompa GPS Coordinates.....	12
Taula 2.5. Jaman Nkwanta GPS Coordinates.....	12
Taula 2.6. Nakpaye GPS Coordinates.....	12
Taula 2.7. Sumari de llars i la població de cadascuna de les comunitats	13
Taula 2.8. Resum dels serveis i infraestructures que es poden trobar a cadascuna de les comunitats d'estudi.....	13
Taula 2.9. Usos i fonts de l'energia de les llars de les 5 comunitats.....	18
Taula 2.10. Despesa estimada en energia (en GH¢/mes) a casa llar i del(s) MFP(s) per cada comunitat.....	18
Taula 3.1. Segmentació de la demanda de les llars.....	20
Taula 3.2. Creixement estimat del nombre de llars per Seneso.....	21
Taula 3.3. Increment potencial estimat d'activitats socioeconòmiques a Seneso	21
Taula 3.4. Increment estimat de la demanda d'energia i potència elèctrica a Seneso.....	21
Taula 3.5. Increment estimat de la demanda d'energia i potència elèctrica a Boniafo, Bompa, Jaman Nkwanta i Nakpaye.....	22
Taula 3.6. Residu anual disponible (en quilograms) a cada comunitat analitzada.....	26
Taula 3.7. Producció elèctrica estimada mitjana per dia de les 5 comunitats a partir d'un consum de 2kg/kWhe.....	27
Taula 3.8. Equips de referència per al disseny dels equips de generació elèctrica de les comunitats.....	29
Taula 3.9. Equips de referència per al disseny de la distribució elèctrica de les comunitats.	29
Taula 3.10. Consum específic típic d'un gasificador en funció del seu factor de càrrega	34
Taula 4.1. Resum de les configuracions optimitzades pel HOMER.....	42
Taula 4.2. Resultats obtinguts sobre la producció d'electricitat en la simulació de HOMER per a cada comunitat.....	42
Taula 4.3. Resultats obtinguts sobre el treball dels camps fotovoltaics de cada comunitat en la simulació de HOMER	45
Taula 4.4. Resultats obtinguts sobre el treball dels gasificadors de cada comunitat en la simulació de HOMER.....	46
Taula 4.5. Resultats obtinguts sobre el treball de les bateries de cada comunitat en la simulació de HOMER.....	48
Taula 4.6. Resultats obtinguts sobre l'ondulador-carregador de bateries de cada comunitat en la simulació de HOMER	50
Taula 4.7. Característiques tècniques del gasificador de biomassa PP10.....	54
Taula 4.8. Característiques tècniques del gasificador de biomassa PP20.....	55
Taula 4.9. Característiques tècniques dels mòduls fotovoltaics	56
Taula 4.10. Característiques tècniques de l'estructura de suport del camp fotovoltaic	57
Taula 4.11. Característiques tècniques de les bateries.....	58
Taula 4.12. Característiques tècniques dels mòduls fotovoltaics	59
Taula 4.13. Característiques tècniques de l'ondulador-carregador de bateries.....	60
Taula 4.14. Característiques tècniques de l'aparell de gestió/control de demanda	62

LLISTAT DE GRÀFICS I FIGURES

Figura 1.1. Gràfic IDH – Consum energètic (kg de petroli equivalents).....	2
Figura 1.2. Nombre i ràtio de persones sense accés a l'electricitat per països (2012).	4
Figura 1.3. Tendència de l'accés a l'electricitat a Ghana a partir de diferents enquestes i projecció cap a l'accés universal	4
Figura 1.4. Població estimada a l'any 2020 de les comunitats desconnectades a dia d'avui.....	5
Figura 1.5. Població que confia en l'ús tradicional de biomassa solida per cuinar a l'Àfrica sudsahariana per subregions (2012).....	5
Figura 1.6. Tendència de l'accés als GLP a Ghana a partir de vàries enquestes i projeccions a l'objectiu del 50%.	5
Figura 1.7. Origen de la biomassa i tipus.....	7
Figura 1.8. Transformacions i aplicacions energètiques de la biomassa	8
Figura 1.9. Esquema d'un reactor tipus downdraft amb les diferents zones del procés	9
Figura 1.10. Esquema procés de gasificació.....	9
Figura 2.1. Communities' locations. Brong Ahafo, Northern Region.....	12
Figura 2.2. Ubicació de les infraestructures de Seneso obtingudes al maig de 2013.....	15
Figura 2.3. Ubicació de les infraestructures de Boniafo obtingudes al novembre de 2013.....	15
Figura 2.4. Ubicació de les infraestructures de Bompa obtingudes al novembre de 2013	16
Figura 2.5. Ubicació de les infraestructures de Jaman Nkwanta obtingudes al novembre de 2013.....	16
Figura 2.6. Ubicació de les infraestructures de Nakpaye obtingudes al novembre de 2013	17
Figura 3.1. Perfil de càrrega diari de Seneso.....	22
Figura 3.2. Perfil de càrrega diari de Boniafo.....	23
Figura 3.3. Perfil de càrrega diari de Bompa	23
Figura 3.4. Perfil de càrrega diari de Jaman Nkwanta.....	23
Figura 3.5. Perfil de càrrega diari de Nakpaye	24
Figura 3.6. Recurs solar de Boniafo i Seneso	25
Figura 3.7. Recurs solar de Bompa.....	25
Figura 3.8. Recurs solar de Jaman Nkwanta i Nakpaye.....	25
Figura 3.9. Pes relatiu de cada residu disponible per comunitat	27
Figura 3.10. Esquema general del sistema de generació elèctrica.....	29
Figura 3.11. Captura de pantalla de la modelització de la micro-xarxa (en l'exemple, de Seneso) al HOMER.....	31
Figura 3.12. Captura de la finestra d'introducció del perfil de la demanda a HOMER, en aquest cas de Bompa	32
Figura 3.13. Captura de la finestra d'introducció del recurs solar a HOMER, en aquest cas de Seneso.....	32
Figura 3.14. Captura de la finestra d'introducció de la biomassa disponible a HOMER, en aquest cas de Boniafo.....	33
Figura 3.15. 10kW i 20kW GEK Power Pallet.....	33
Figura 3.16. Captura de pantalla de la definició de costos del gasificador.....	34
Figura 3.17. Captura de pantalla de la definició de la corba de consum del gasificador (comú a totes les comunitats).....	35
Figura 3.18. Captura de pantalla de l'horari de treball definit per al gasificador a Jaman Nkwanta	36
Figura 3.19. Captura de pantalla de l'horari de treball definit per al gasificador a Jaman Nkwanta	37
Figura 3.20. Captura de pantalla de l'horari de treball definit per al gasificador a Jaman Nkwanta	37

Figura 3.21. Captura de pantalla de la definició del panell fotovoltaic, en aquest per Nakpaye	38
Figura 3.22. Captura de pantalla de la definició dels bancs de bateries (comú a totes les comunitats)	39
Figura 3.23. Captura de pantalla de la definició de l'ondulador-carregador de bateries (comú a totes les comunitats).....	39
Figura 4.1. Resultat optimitzat del HOMER per Seneso.....	41
Figura 4.2. Resultat optimitzat del HOMER per Boniafo.....	41
Figura 4.3. Resultat optimitzat del HOMER per Bompa	41
Figura 4.4. Resultat optimitzat del HOMER per Jaman Nkwanta.....	41
Figura 4.5. Resultat optimitzat del HOMER per Nakpaye.....	41
Figura 4.6. Gràfics obtinguts de la simulació de Jaman Nkwanta amb HOMER en els qual es poden detectar les causes de la demanda no coberta	43
Figura 4.7. Producció elèctrica mitjana mensual, segregada segons els recurs energètic, a Seneso	43
Figura 4.8. Producció elèctrica mitjana mensual, segregada segons els recurs energètic, a Boniafo, Bompa, Jaman Nkwanta i Nakpaye.	44
Figura 4.9. Treball diari del gasificador de Seneso, Boniafo i Bompa.....	45
Figura 4.10. Treball diari del gasificador de Jaman Nkwanta i Nakpaye.....	46
Figura 4.11. Treball diari del gasificador de Seneso, Boniafo i Bompa.....	47
Figura 4.12. Treball diari del gasificador de Jaman Nkwanta i Nakpaye.....	48
Figura 4.13. Estat de càrrega diària (per mesos) de les bateries obtinguda en la simulació amb el HOMER de Seneso, Boniafo, Bompa i Jaman Nkwanta.....	49
Figura 4.14. Estat de càrrega diària (per mesos) de les bateries obtinguda en la simulació amb el HOMER de Nakpaye.....	50
Figura 4.15. Treball de l'inversor i el rectificador obtingut en la simulació amb el HOMER per Seneso.....	51
Figura 4.16. Treball de l'inversor i el rectificador obtingut en la simulació amb el HOMER per Boniafo.....	51
Figura 4.17. Treball de l'inversor i el rectificador obtingut en la simulació amb el HOMER per Bompa	51
Figura 4.18. Treball de l'inversor i el rectificador obtingut en la simulació amb el HOMER per Jaman Nkwanta	52
Figura 4.19. Treball de l'inversor i el rectificador obtingut en la simulació amb el HOMER per Nakpaye.....	52
Figura 4.20. Fotografia d'un mòdul REC240PE.....	55
Figura 4.21. Fotografia d'una cèl·lula Hoppecke OPzV 2900	57
Figura 4.22. Fotografia d'un regulador Studer Innotec VT80	58
Figura 4.23. Fotografia d'un ondulador Studer Xtender XTH 6000-48.....	60
Figura 4.24. Fotografia d'un dispensador Circutor Dispenser B II	62

GLOSSARI

- COE** Cost Of Electricity (u.m./kWh)
- ECOWAS** Economic Community Of West African States
- ECREE** ECOWAS Centre for Renewable Energy and Energy Efficiency
- EREF** ECOWAS Renewable Energy Facility
- GH¢** Símbol monetari del cedi ghanès (Ghana Cedi), la moneda de Ghana.
- GHp** Ghana pesewas. Una centèsima part de GHS.
- GHS** Codi ISO del Ghana Cedi.
- GLP** Gas Liquefiet de Petroli
- HOMER** Hybrid Optimization Model for Electric Renewables software
- IEA** International Energy Agency
- KITE** Kumasi Institute of Technology and Environment
- KNUST** Kwame Nkrumah University of Science and Technology
- kWh_e** kWh en forma d'electricitat
- MFP** Multifunctional Platform
- MoEP** Ministry of Energy and Petroleum (Ghana)
- MPPT** Maximum Power Point Tracking
- NES** National Electrification Scheme
- NREL** National Renewable Energy Laboratory del Departament d'Energia dels Estats Units.
- PCI** Poder Calorífic Inferior (kJ/kg o kJ/Nm³)
- ODM** Objectius de Desenvolupament del Mil·lenni
- TEC-KNUST** The Energy Center of Kwame Nkrumah University of Science and Technology
- UN** United Nations (Nacions Unides)
- UNDP** United Nations Development Program (Programa de les Nacions Unides pel Desenvolupament)
- VDC** Volt Direct Current (Voltatge de corrent continu)

1. INTRODUCCIÓ

1.1. MARC DE TREBALL

El treball que es presenta s'emmarca dins del projecte de preinversió: <<Feasibility study and detailed engineering of small scale biomass gasification mini grids for electricity services in rural communities in Ghana>> dirigit per l'ONG local Kumasi Institute of Technology and Environment (KITE) en col·laboració amb The Energy Center de la Kwame Nkrumah University of Science and Technology (TECKNUST) de Ghana i la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Al mateix temps, el projecte està parcialment finançat per l'ECOWAS Renewable Energy Facility (EREF) gestionat pel Secretariat de la ECOWAS Centre for Renewable Energy and Energy Efficiency (ECREEE).

Aquest projecte tracta de dur a terme un estudi de viabilitat per avaluar la conversió dels recursos de biomassa, en forma de residus agrícoles, a través d'un sistema de gasificació de biomassa per proporcionar electricitat a cinc comunitats MFP desconnectades de la xarxa. El projecte engloba estudis teòrics, visites de camp, enginyeria de detall dels sistemes de generació d'electricitat i tallers per compartir els resultats amb experts en energia i desenvolupadors de projectes d'energies renovables. Aquest projecte de preinversió serà un precursor de la instal·lació, posada en servei i posada en marxa de petits sistemes de gasificació de biomassa a escala amb micro-xarxes.

1.1.1. SELECCIÓ DE LES COMUNITATS BENEFICIÀRIES

Entre els anys 2006 i 2008, i amb finançament del PNUD, KITE va implementar el programa Multifunctional Platforms (MFP) per subministrar serveis d'energia mecànica a 38 comunitats desconnectades de la xarxa elèctrica nacional a les regions de Brong Ahafo i Northern Region de Ghana. Un MFP consta d'un motor dièsel Lister muntat en un xassís que forneix energia mecànica a un o diversos equips de processament agrícola.

Des de la seva implantació, les MFP han presentat tot un seguit d'inconvenients i limitacions. L'ús de combustibles fòssils fa que, per una banda, aquestes MFPs es vegin generalment afectades pels alts i volàtils preus del petroli i a les que s'hi suma el seu cost operacional, esdevenint així finançament insostenibles; i, per una altra banda, contribueix a l'emissió de gasos d'efecte hivernacle afectant negativament al medi ambient. A més a més, encara que aquestes MFPs han satisfet les necessitats d'energia mecànica de les comunitats, aquelles comunitats que no entren dins del "National Electrification Master Plan" segueixen avui dia sense tenir cobertes el conjunt de les seves necessitats energètiques al no disposar d'accés a l'electricitat.

1.2. MOTIVACIÓ

L'energia és un element clau en el desenvolupament i/o la sostenibilitat de qualsevol societat humana i més quan ajuntem aquests dos aspectes. De fet, la pròpia Assemblea General de les Nacions Unides va designar l'any 2012 com l'Any Internacional "Sustainable Energy for All" (SE4All).

Malgrat l'energia no pertany específicament als Objectius de Desenvolupament del Mil·lenni, l'accés a l'energia és un requisit indispensable per a l'assoliment d'aquest objectiu (UNDP, 2012). D'acord amb aquest idea, el World Bank i el UNDP han recomanat els següents objectius, per al 2015, com a necessaris per assolir els ODM:

- Habilitar l'ús de combustibles "moderns" al 50% d'aquelles persones que, a dia d'avui, utilitzen biomassa tradicional per cuinar i, al mateix temps, millorar la salut i la sostenibilitat ambiental de l'ús de la biomassa tradicional.
- Garantir l'accés fiable i eficient a totes les zones urbanes i periurbanes.

- Proveir l'accés a serveis energètics moderns (en forma de potència mecànica i electricitat) a nivell comunitari a totes les comunitats rurals.

Concretament, l'Àfrica subsahariana i l'Àsia del Sud són les zones on l'accés a l'energia¹ és la més limitada en totes les dimensions. A tall d'exemple, el consum per càpita d'electricitat a l'Àfrica subsahariana és aproximadament de 52kWh, mentre que a l'estat de New York (EUA) el consum és de 2050kWh per càpita (UNDP, 2012).

A nivell macro, és evident que hi ha una forta correlació entre el consum energètic i el desenvolupament humà, segons els criteris de mesura del UNDP, tal i com s'il·lustra a la Figura 1.1. És, per tant, necessari disposar d'un accés a l'energia eficient, fiable i assequible per poder assolir un nivell de vida digne, condició necessària encara que no suficient, i que és significatiu sobretot a nivells baixos de qualitat de vida.

L'accés a l'energia té un efecte transformador indirecte, a través de l'ocupació (feina), sobre la qualitat de vida. Tant a nivells *micro* com *macro*, es poden reconèixer tot un seguit de vincles entre l'accés a serveis energètics i la millora de l'ocupació (UNDP, 2012), a través de tres dimensions:

- Genera nous llocs de treball, doncs el sector energètic necessita de mà d'obra pròpia per créixer i mantenir-se i, a més a més, existeix una indústria vinculada que ha de satisfer la demanda tecnològica d'aquest sector.
- Millora de les condicions laborals.
- Permet disposar de més temps, que abans es dedicava a tasques de mera supervivència, a d'altres activitats. Sobretot, les dones són les més beneficiades en aquesta dimensió, doncs són elles les que tradicionalment han dedicat el seu temps a desenvolupar tasques bàsiques de la llar, com són anar a buscar aigua o recollir llenya per satisfer les necessitats energètiques.

Però fer realitat un 100% d'accés a l'energia no es limita a "crear" aquest accés, sinó que cal considerar diferents aspectes abans de fer-ho. Primer, cal ser conscient que s'està donant una convergència de factors com la disminució de les reserves mundials de combustibles fòssils i els efectes perjudicials de l'escalfament global, juntament a l'augment de la demanda d'energia a causa de l'augment de la població, que força un canvi a fonts d'energia de baixa emissió de carboni (Adaramola, Agelin-Chaab, & Paul, 2014).

I, segon, l'augment del cost de generació, transmissió i distribució (pèrdues tècniques, així com no tècniques com és el furt) i l'alt cost d'un sistema de gestió centralitzat per a càrregues petites fan que el subministrament d'energia per xarxa sigui poc atractiu per als llocs remots i en alguns casos financerament impossible (Mahapatra & Dasappa, 2012) i, per tant, és necessari un model descentralitzat de subministrament elèctric en aquests emplaçaments, majoritàriament, rurals.

Segons (Mahapatra & Dasappa, 2012), amb el 30% dels residus de l'agro-processament i el 10% dels residus forestals provinents de l'indústria de processament de la fusta a l'Àfrica subsahariana el potencial elèctric és d'aproximadament 5.000MW i 10.000MW, respectivament, utilitzant sistemes de gasificació de biomassa.

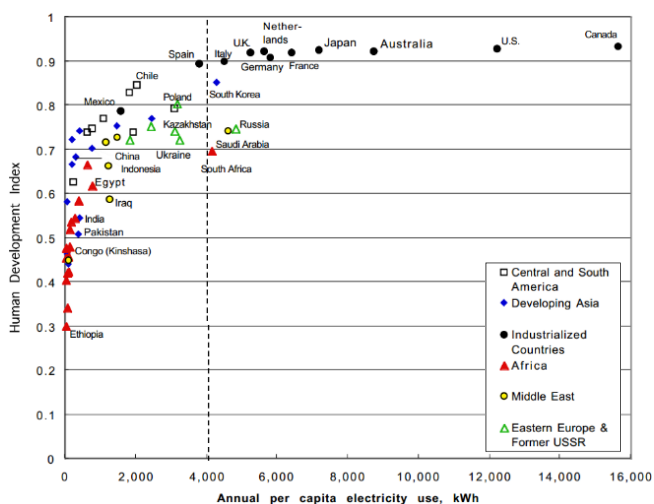


Figura 1.1. Gràfic IDH - Consum energètic (kg de petroli equivalents)

Font: (Pasternak, 2000)

¹ L'accés a l'energia pot ser definit de dues formes d'acord d'on se centra l'atenció: en l'objectiu d'ús i el servei energètic que les persones gaudeixen directament (p. e. llum) o bé en l'energia consumida en termes de portadors d'energia (p. e. l'electricitat).

Dur a terme experiències com la que es pretén dur a terme amb el projecte permet contribuir al desenvolupament sostenible a l'Àfrica sudsahariana ampliant el *know-how* en la generació i el servei d'electricitat descentralitzat a petita escala basat en tecnologies de conversió de la biomassa, emfatitzant la tecnologia gasificació, per a micro-xarxes.

Finalment, es vol destacar que el treball desenvolupat en el present document s'ha dut a terme com a Treball de Fi de Màster del Màster universitari en "Tecnologies per al Desenvolupament Humà i la Cooperació" impartit per l'Institut de Sostenibilitat (IS.UPC) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) i que la visita de camp, duta a terme en el marc d'aquest treball, va ser finançada pel Centre de Cooperació pel Desenvolupament (CCD) de la UPC.

1.3. OBJECTIUS I RESULTATS ESPERATS

En la concepció del present Treball de Fi de Màster, s'establí com a objectiu general: <<Elaborar l'enginyeria i el pressupost dels sistemes de generació d'electricitat que s'instal·laran a cadascuna de les 5 comunitats beneficiàries del projecte "Feasibility study and detailed engineering of small scale biomass gasification mini grids for electricity services in rural communities in Ghana">>. Aquest objectiu ve determinat per la tasca a desenvolupar dins d'aquest projecte i que correspondria a l'activitat 3.1.1 del mateix.

Tanmateix, s'han plantejat objectius més específics per al desenvolupament d'aquest TFM:

- Conèixer i contextualitzar les comunitats beneficiàries *in situ*.
- Obtenir les coordenades GPS de les construccions de cada comunitat i localitzar possibles ubicacions on instal·lar la zona de generació elèctrica.
- Desenvolupar una primera proposta tècnica (avantprojecte) de la micro-xarxa per cada comunitat: equips a utilitzar i distribució elèctrica preliminar.

Per assolir aquests objectius, s'han planificat 3 etapes. Una primera, prèvia al treball de camp, en la qual se centrà en la familiarització amb el projecte marc, la definició de les tasques a desenvolupar dins d'aquest i la preparació del viatge. Un cop a terres ghaneses, la principal tasca va ser coordinar-se amb les persones referents del projecte, tant de KITE com de TEC-KNUST, per establir les següents passes dins del projecte i preparar i dur a terme la visita de les 5 comunitats. L'última etapa ha consistit en processar les dades preses, juntament amb les ja existents anteriorment, i desenvolupar la proposta tècnica que es presenta al llarg d'aquest document.

Com a resultat principal, s'espera obtenir una proposta tècnica preliminar (avantprojecte) del servei elèctric per a cadascuna de les 5 comunitats beneficiàries del projecte que permeti establir un punt de partida per a desenvolupar una proposta definitiva. Com a resultats secundaris, s'espera que durant el desenvolupament d'aquesta proposta es puguin detectar nous aspectes a considerar i punts de millora a tenir en compte en l'elaboració de la proposta tècnica definitiva.

1.4. CONTEXTUALITZACIÓ DEL PROJECTE

1.4.1. CONTEXT ENERGÈTIC A L'ÀFRICA SUDSAHARIANA I CONCRET DE GHANA

L'ACCÉS A L'ELECTRICITAT

Segons l'informe <<Africa Energy Outlook>> (IEA, 2014), l'Àfrica sudsahariana és la regió amb més persones que viuen sense accés a l'electricitat que qualsevol altre regió del món (més de 620 milions) i és l'única d'aquestes en la qual aquest nombre està augmentant a dia d'avui a causa de el ràpid creixement demogràfic que està superant els esforços per proveir-hi accés. Concretament, el mateix informe apunta que prop del 80% d'aquestes persones que no disposen d'accés a l'electricitat a l'Àfrica sudsahariana es troben en zones rurals.

A l'Àfrica de l'Oest, l'accés a l'electricitat és inferior al 20% a Libèria, Sierra Leone, Niger i Burkina Faso en contraposició de més del 50% a Senegal i per sobre del 70% a Ghana. I, malgrat ser l'estat africà amb el PIB més gran de tota l'Àfrica sudsahariana, aproximadament el 55% de la població de Nigèria no té accés a la xarxa elèctrica (IEA, 2014). El mateix informe destaca la gran millora en aquest àmbit de Ghana, gràcies a la política duta a terme des de l'any 1989, en el qual llançà el National Electrification Scheme (NES).

Per aquells que disposen d'accés a l'electricitat a l'Àfrica sudsahariana, el consum mig per càpita és de 317kWh l'any (o 225kWh si s'exclou a Sudàfrica del càlcul), equivalent a un 20% d'Europa o del 7% dels EUA. Si parlem d'àrees rurals, aquest consum es redueix a un rang d'entre 50 i 100kWh l'any. Per exemple, a una llar composta de 5 persones, 50kWh els permetria utilitzar un telèfon mòbil, dues bombetes fluorescents i un ventilador 5 hores al dia (IEA, 2014). En el cas concret de Ghana, aquest consum és de 357,5kWh (Adaramola, Agelin-Chaab, & Paul, 2014).

El Cens d'Habitatge i Població (PHS) de 2010 a Ghana diu que el 84% de les llars urbanes disposen d'accés a l'electricitat, mentre que en el cas de les llars rurals és del 40% (Mensah, Kemausuor, & Brew-Hammond, 2014). A més a més, el mateix Cens ajuda a explicar que les llars urbanes desconnectades ho estan per motius financers més que per manca d'accés a la infraestructura de la xarxa, concordant amb el fet que a Ghana la xarxa elèctrica passa per totes les comunitats urbanes (aquelles comunitats amb un mínim de 5.000 habitants).

La voluntat del Govern de Ghana és aconseguir l'accés universal a l'electricitat per l'any 2020 (punt C, Figura 1.3), malgrat que la tendència indica que aquest fet s'assoleixi el 2023 (punt F, Figura 1.3).

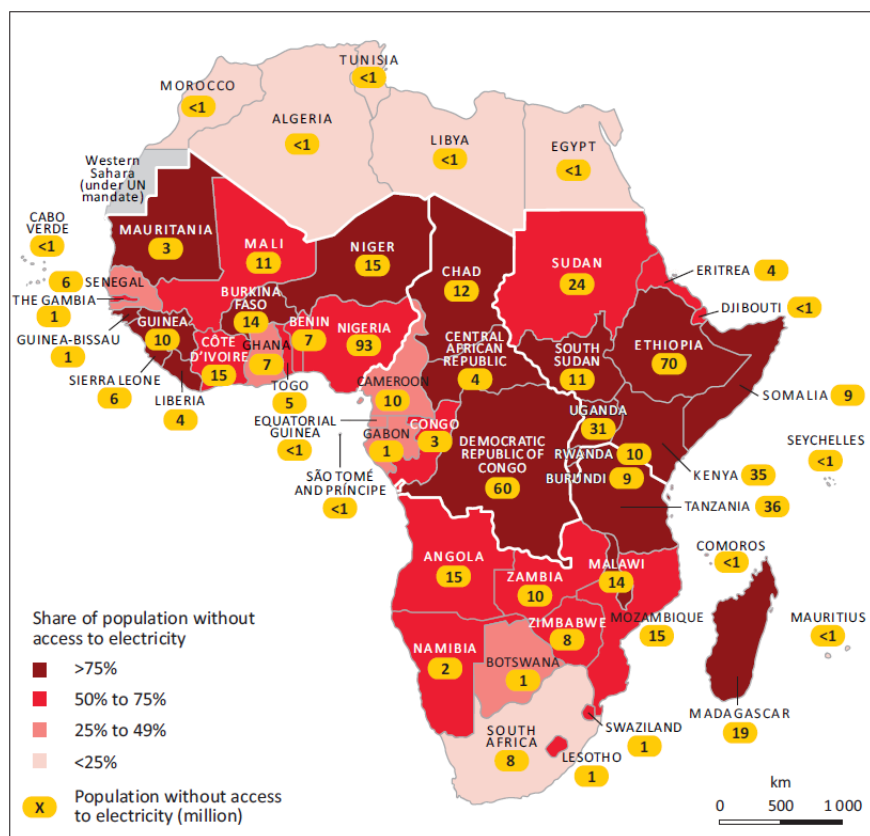


Figura 1.2. Nombre i ràtio de persones sense accés a l'electricitat per països (2012).

Font: Africa Energy Outlook (IEA, 2014)

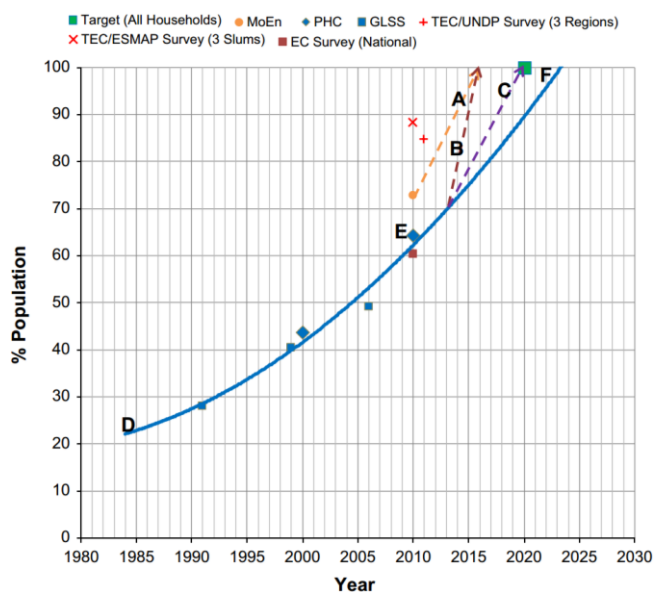


Figura 1.3. Tendència de l'accés a l'electricitat a Ghana a partir de diferents enquestes i projecció cap a l'accés universal.

Font: (Mensah, Kemausuor, & Brew-Hammond, 2014)

El gran repte que té el Govern de Ghana per aconseguir aquest objectiu és que, per a l'any 2020, més del 50% de la població "desconnectada" a dia d'avui seguirà vivint en comunitats amb menys de 500 habitants (veure la Figura 1.4), en contradicció amb el criteri actual de Ghana de connexió a la xarxa nacional d'aquells nuclis de població amb més de 500 habitants. És necessari, per tant, la incorporació d'altres opcions per a l'electrificació rural, com les micro-xarxes i *off-grid*, i incorporar-les a la NES i facilitar l'accés a les petites i mitjanes empreses al mercat elèctric rural.

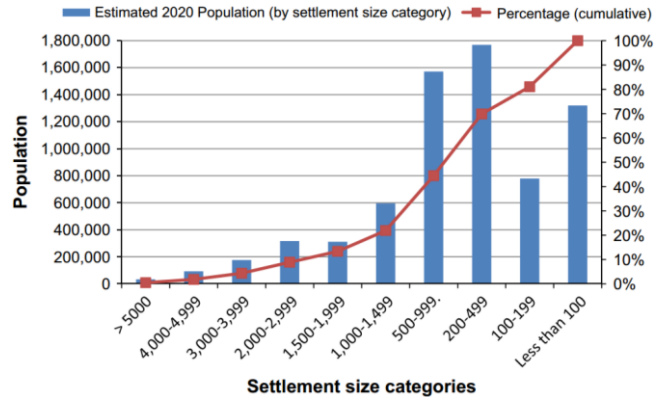


Figura 1.4. Població estimada a l'any 2020 de les comunitats desconnectades a dia d'avui.

Font: (Mensah, Kemausuor, & Brew-Hammond, 2014)

L'ACCÉS A INSTAL·LACIONS NETES PER CUINAR

Al voltant del 80% de la demanda residencial d'energia, a l'Àfrica subsahariana, és per cuinar; en contraposició dels països de l'OCDE que és al voltant del 5% (IEA, 2014). La bioenergia és predominant en el mix energètic de l'Àfrica subsahariana, amb més d'un 60% de l'ús d'energia total, i segueix creixent malgrat l'augment d'ingressos. L'ús de la biomassa tradicional és de llarg el gran component d'aquesta tendència. Com es pot observar a la figura que segueix, a Ghana, per sobre dels 20 milions de persones depenen de la biomassa tradicional per cuinar d'un total de gairebé 24,7 milions d'habitants (Ghana Statistical Service, 2013).

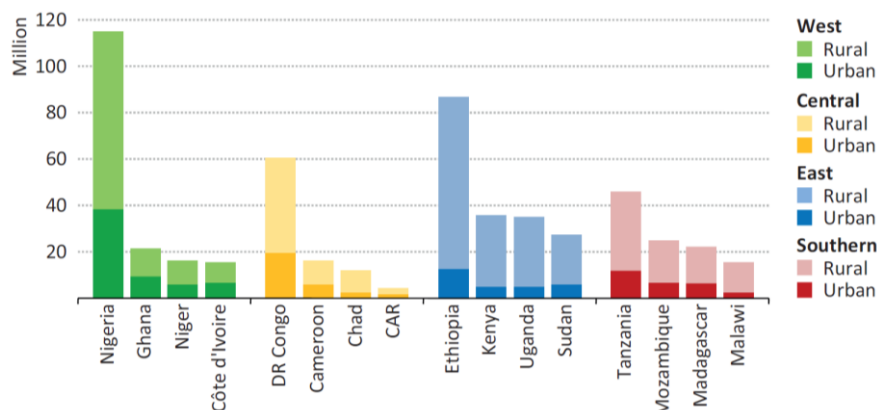


Figura 1.5. Població que confia en l'ús tradicional de biomassa sòlida per cuinar a l'Àfrica subsahariana per subregions (2012)

Font: Africa Energy Outlook (IEA, 2014)

Ghana s'ha establert l'ambiciós objectiu de proveir al 50% de les llars amb GLP pel 2016, partint de menys del 20% al 2014. Cal tenir en compte, però, que actualment Ghana depèn de les importacions de petroli per proporcionar una gran part de la seva energia interna a causa de la baixa capacitat de la refinaria del país (Mohammed, Mokhtar, Bashir, & Saidur, 2013). A més a més, la distribució espacial dels assentaments rurals i la escassa xarxa de carreteres en males condicions fan que el transport dels productes derivats del petroli a les zones rurals sigui difícil. Això

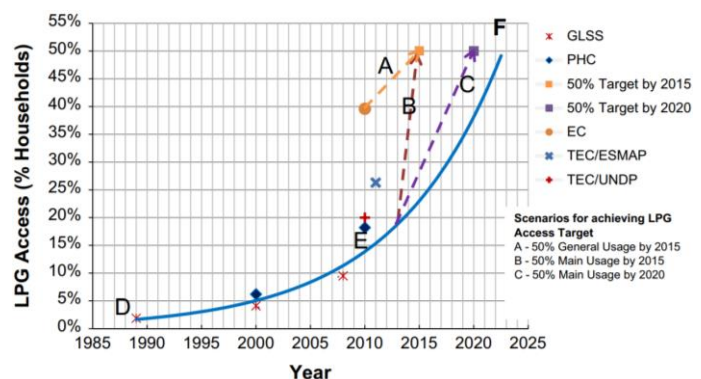


Figura 1.6. Tendència de l'accés als GLP a Ghana a partir de varies enquestes i projeccions a l'objectiu del 50%.

Font: (Mensah, Kemausuor, & Brew-Hammond, 2014)

es tradueix que, per exemple, la zona amb menys accés de les llars al GLP és la zona Nord de Ghana (les regions Northern, Upper East i Upper West) on és extremadament baixa la presència d'estacions de servei d'aquests productes i, a més a més, es concentren totes a les capitals de les 3 regions (Mensah, Kemausuor, & Brew-Hammond, 2014). Observant la tendència de l'accés de les llars als GLP (Figura 1.6), l'objectiu del Govern ghanès d'assolir un accés del 50% a curt termini és totalment descartable, preveient-se possible a partir del 2020.

La biomassa en forma llenya, continua sent el combustible més prominent a Ghana per cuinar i escalfar-se. La llenya i el carbó vegetal representen al voltant del 42% de l'energia total consumida al país el 2012 (IEA, 2014) i és una font important de preocupació tenint en compte els efectes sobre la desforestació i els problemes de salut associats amb la contaminació interior derivat de la combustió de la biomassa.

Segons la pròpia FAO (FAO, 2014), la dendroenergia² continua sent l'energia renovable més important, proporcionat més del 9% del subministrament total d'energia primària a nivell mundial. Més de 2000 milions de persones depenen directament d'aquesta font d'energia per cuinar i/o escalfar-se, especialment en països empobrits. Un terç del consum mundial d'energia renovable prové de l'ús dels combustibles de la fusta a les llars per a la cocció d'aliments i la calefacció. En conseqüència, la investigació i desenvolupament de tecnologies per aquest tipus de font és un aspecte clau per al desenvolupament dels països empobrits.

1.4.2. POTENCIAL ENERGÈTIC DE LA BIOMASSA. EL CAS CONCRET DE GHANA.

Com ja s'ha argumentat anteriorment i davant de la situació energètica existent als països empobrits, l'alternativa per a la producció d'energia en les comunitats rurals i remotes és, amb poques excepcions, una estructura de sistema d'energia descentralitzada i, concretament, el subministrament d'energia descentralitzada a partir de biomassa; doncs aquesta pot oferir un bon subministrament i més fiable de l'electricitat i generar ingressos derivats de la utilització dels recursos locals dels agricultors (Mohammed, Mokhtar, Bashir, & Saidur, 2013).

Segons (IDAE, 2007) i (ICAEN, 2010), l'ús de la biomassa com a recurs energètic suposa una sèrie d'avantatges mediambientals, enfront dels combustibles fòssils:

- Disminució de les emissions de sofre i partícules.
- Emissions reduïdes de contaminants com CO, HC i NO_x.
- Cicle neutre del CO₂, no contribuint a l'efecte hivernacle.
- Reducció del manteniment i dels perills derivats de l'escapament de gasos tòxics i combustibles a les llars.
- Reducció de riscos d'incendi forestals i de plagues d'insectes.
- Aprofitament de residus agrícoles, evitant la crema en els terrenys.
- Possibilitat de la utilització de terres de guaret com a cultius energètics.
- Independència de les fluctuacions dels preus de combustibles provinents de l'exterior (combustible autòcton).
- Millora socioeconòmica de les àrees rurals.
- I contribueix a la descentralització i diversificació energètica i a la creació de nous llocs de treball.

Un dels avantatges que presenta la biomassa és la gran diversitat de formes en la que és present i el seu origen divers. A la Figura 1.7, es mostra de forma simplificada aquest ampli ventall de formes i origen.

L'ús de productes d'origen forestal en l'àmbit energètic, més enllà de l'aprofitament dels subproductes derivats de l'indústria fustera a Ghana, només faria que augmentar la pressió ja existent sobre la massa forestal multiplicant, així, els efectes de la desforestació (com ja s'ha esmentat en el subapartat anterior). Cal, doncs, estudiar quin és el potencial energètic de les altres formes de biomassa.

² Energia derivada de la biomassa llenyosa.

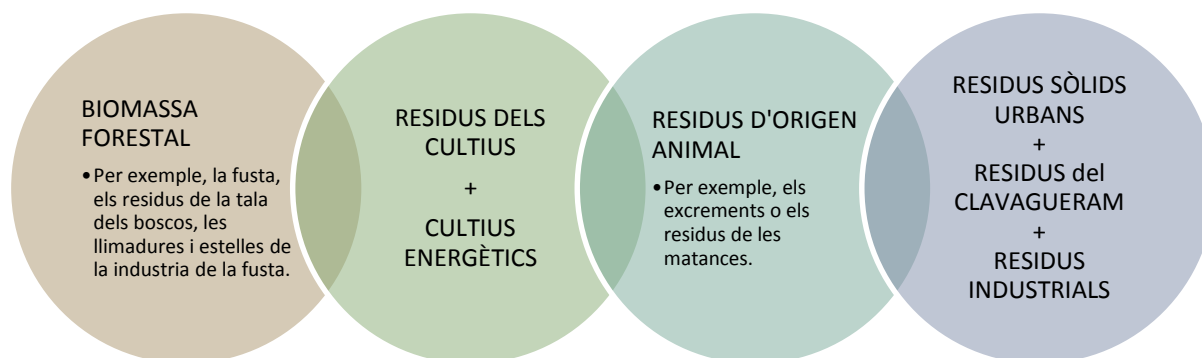


Figura 1.7. Origen de la biomassa i tipus.

Font: Elaboració pròpia

Una primera alternativa a la biomassa forestal són els cultius energètics: cultius energètics llenyosos i cultius d'herbàcies perennes). A Ghana, els cultius energètics que tenen potencial com a matèria primera per a la producció de bio-combustibles són la canya de sucre, el sorgo dolç, el blat de moro i la iuca per l'elaboració d'etanol i l'oli de palma, el coco, el gira-sol, la soja i la *jatropha curcas* per l'elaboració de biodièsel (Duku, Gu, & Haga, 2011). Ghana és el major productor potencial de biodièsel d'Àfrica, amb 50 milions de litres, a partir de la *jatropha* (Mohammed, Mokhtar, Bashir, & Saidur, 2013).

Malgrat aquest gran potencial innegable dels cultius energètics, el ús és èticament controvertit a causa dels efectes directes i indirectes sobre la desforestació (en busca de més extensió de terres pel seu cultiu), l'increment en el preu dels aliments i la disponibilitat d'aliments, doncs els agricultors deixen de cultivar aquest últims pels energètics que tenen un valor afegit més alt en el mercat (Kemausuor, Kamp, Thomsen, Bensah, & Østergård, 2014). En aquest sentit, l'ús de biomassa basada en residus (agrícoles, forestals i urbans i altres deixalles) ajuda a reduir aquests efectes negatius.

Els residus de cultius agrícoles es poden classificar en residus derivats del cultiu d'aliments, els materials que queden després de la collita dels cultius objectiu o cremats *in-situ*, i en subproductes de l'agricultura industrial, que es produeixen sobretot després de l'elaboració dels cultius. Per un costat, els residus derivats dels cultius a Ghana inclouen la palla i les tiges dels cereals com l'arròs, el blat de moro, el sorgo (també anomenada melca) i el mill, i les beines de cacau. Per una altra banda, els subproductes d'origen agro-industrial inclouen la closca de cacau, la closca de coco i la pellofa, la pellofa d'arròs, coques de llavors oleaginoses, el bagàs de canya de sucre i les peles del fruit de la palma d'oli (Duku, Gu, & Haga, 2011). A aquest conjunt, caldria afegir-hi els residus agrícoles de la producció de fruites que, possiblement, podria ser utilitzat com a matèria primera per a la digestió anaeròbica.

Un tercera alternativa a la biomassa forestal són els fems d'origen animal doncs, si es tracten adequadament, poden ser una bona font d'energia. A Ghana, la producció ramadera sigui d'agricultura mixta (més pròpia de grangers i famílies rurals o semi-urbans basada en una varietat d'animals en petites quantitats) o la producció comercial de bestiar (basada en grans quantitats d'una mateix tipus de bestiar) genera un munt de femta animal. L'aprofitament d'aquest gran volum de fems per a la producció d'energia, mitjançant digestió anaeròbica, té triple valor afegit: es produeix un biogàs (un combustible ric en metà) apte per a la generació elèctrica i calor o per cuinar en zones rurals on un altre tipus de producte no arriba, la venda d'aquest biogàs permetria augmentar la renda dels agricultors i el producte final de la digestió anaeròbica és un fertilitzant apte per l'adob dels camps.

Segons (Mohammed, Mokhtar, Bashir, & Saidur, 2013), el potencial energètic aproximat de Ghana que es podria obtenir dels residus agrícoles és 86,6TJ i de la femta animal és de 47,6TJ, l'equivalent a 240GWh i 132GWh respectivament per l'any 2010.

L'última alternativa que resta és l'aprofitament de la gran varietat de residus procedents dels nuclis urbans i de l'activitat industrial que, amb una adequada gestió d'aquests, podria ajudar a disminuir la dependència de combustibles fòssils en la producció energètica a nivell centralitzat.

A la figura que es presenta a continuació, es resumeixen gràficament les múltiples vies d'aprofitament de la biomassa:

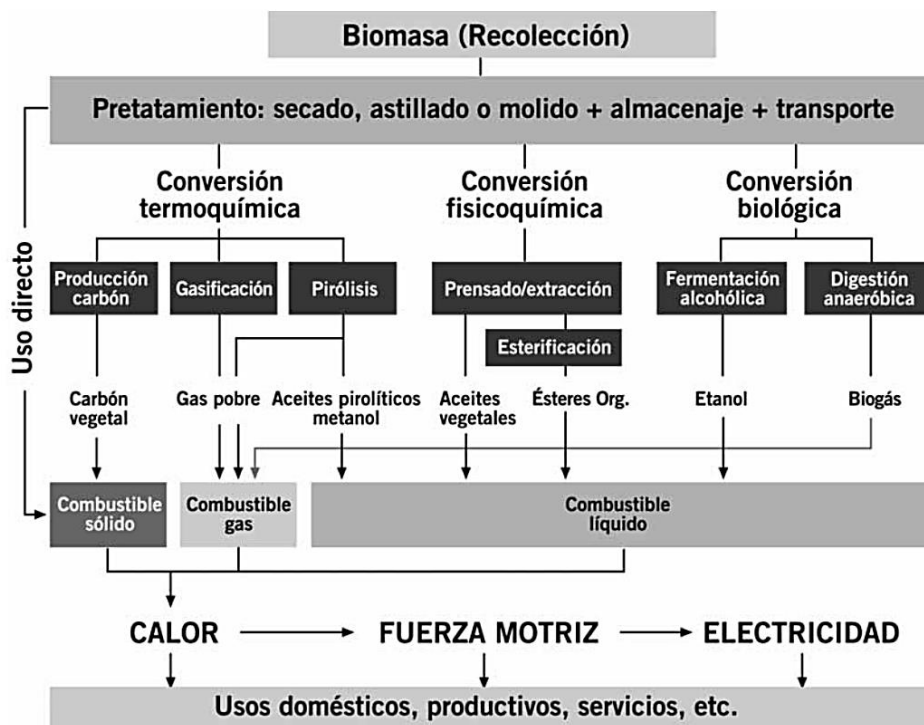


Figura 1.8. Transformacions i aplicacions energètiques de la biomassa.

Font: VELO, E. *Aprovechamiento energético de la biomasa*, Energía, participación y sostenibilidad: 31-42.

Associació Catalana d'Enginyeria Senes Fronteres, Barcelona, febrer 2006.

D'aquest conjunt de vies, el present projecte centra el seu estudi en la transformació dels residus agrícoles de la producció d'aliments a través de la gasificació per a la generació d'electricitat.

1.4.3. LA GASIFICACIÓ

QUÈ ÉS LA GASIFICACIÓ

La gasificació és un procés termoquímic en el que es transforma, mitjançant una oxidació parcial (utilitzant entre un 25 i un 30% de l'oxigen necessari per a obtenir una combustió completa o estequiomètrica) a temperatures elevades (mínim de 800°C), una matèria primera en un gas, anomenat gas de síntesi o gas pobre, amb un poder calorífic moderat d'entre 4 i 7 MJ/Nm³ (Velo, 2008). El gas producte està compost principalment per CO, H₂ i CH₄ (aquest últim en proporcions força menors), com a elements combustibles, a més a més del CO₂ com a element no combustible. En el cas que es faci servir aire enlloc d'oxigen pur com a, oxidant, hi haurà presència de N₂ al gas com a component inert. Com a subproductes i en funció del procés de gasificació, es produeixen en major o menor quantitat: cendres, quitrans i petites partícules sòlides carbonoses.

La gran diferència entre la gasificació i d'altres processos termoquímics és la quantitat d'oxigen present a l'atmosfera de la reacció. En el cas de la piròlisi, es tracta d'una descomposició tèrmica de la matèria en absència d'oxigen o, en el cas de la combustió, una oxidació completa generalment amb excés d'oxigen.

TIPUS DE GASIFICADOR

El disseny particular del reactor influeix directament a les característiques del gas produït, sobretot en la temperatura de sortida del gas i de la quantitat de partícules sòlides i quitrans presents en aquest. En funció de l'ús final que se li vulgui donar al gas, s'ha d'escollir acuradament un disseny o un altre. A dia d'avui, s'han dissenyat reactors amb tecnologies de llit fix i llit fluiditzat, majoritàriament.

La configuració més utilitzada per a aplicacions a petita i mitjana escala, de com a molt uns pocs MW, és la de llit fix tipus *downdraft* (Figura 1.9). Els gasificadors de llit fix es caracteritzen per tenir dins del reactor una zona de reacció estacionària, normalment suportada per una reixa i la seva alimentació de biomassa se sol fer per la part superior. A més a més, els gasificadors de llit fix són relativament senzills de dissenyar i d'operar i són la millor opció per a aplicacions a petita i mitjana escala.

Concretament, la configuració *downdraft* rep aquest nom perquè l'aire o l'oxigen passa a través del gasificador descendint, equicorrent al flux de la biomassa. La gasificació té lloc a prop de la base del reactor, en una curta franja on es produeix la reacció a altes temperatures composta bàsicament de carbó vegetal. El propi procés d'oxidació de la biomassa genera la calor suficient com per mantenir el procés de gasificació. La característica clau d'aquesta configuració és que la majoria de quitrans subproductes de la gasificació són destruïts per *cracking* tèrmic al passar a través de la zona de calenta de reacció i, per tant, el procés de neteja posterior és més simple que el de la resta de configuracions. A més a més, la presència de partícules sòlides és baixa.

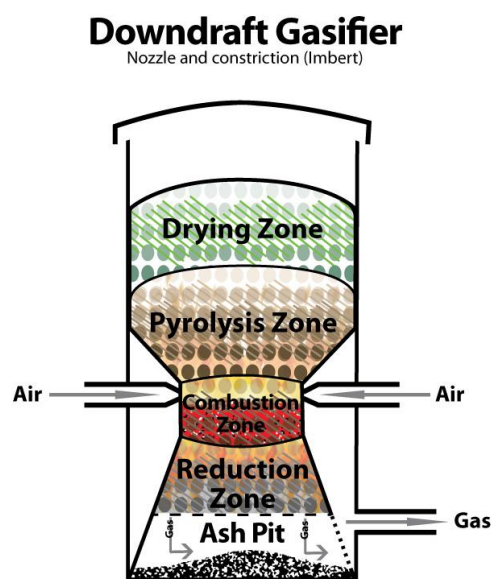


Figura 1.9. Esquema d'un reactor tipus *downdraft* amb les diferents zones del procés.

Font: <http://www.allpowerlabs.com/info/gasification-basics/gasifier-types> [11/2014]

EL PROCÉS DE GASIFICACIÓ

A grans trets, les etapes que segueix la biomassa dins d'un gasificador tipus *downdraft* són:

1. Assecat ("Drying zone")³: la matèria orgànica s'escalfa evaporant la humitat present en ella.
2. Piròlisi ("Distillation zone")³: en arribar la biomassa al voltant dels 350°C (Reed & Das, 1998) i, en absència d'aire, la biomassa es descompon per efecte de la calor. Es generen gasos, hidrocarburs condensables i residus carbonosos.
3. Gasificació ("Hearth zone")³: s'introdueix l'element oxidant (usualment aire), en quantitats inferiors a les estequiomètriques amb l'objectiu d'aconseguir una combustió parcial. Es produeix un gas combustible que conté quitrans, cendres i partícules sòlides carbonoses.
4. Combustió ("Heart zone")³: oxidació de part de la matèria sòlida obtenint la calor necessària per mantenir les etapes prèvies (l'assecat, la piròlisi i la gasificació) a costa d'empobrir el poder calorífic del gas.

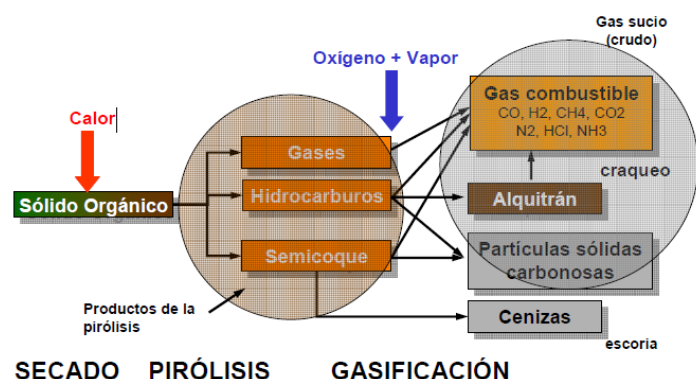


Figura 1.10. Esquema procés de gasificació.

Font: Velo, E. Procesos termoquímicos de aprovechamiento de la biomasa, 2008.

³ Zona de la Figura 1.1 on es produeix l'etapa en qüestió.

Finalment, abans de poder utilitzar el gas de síntesi obtingut mitjançant aquest procés, és necessari condicionar-lo tot reduint la major part d'aquelles substàncies que puguin ser perjudicials pel motor, sobretot cendres i quitrans, i refredant-lo a una temperatura inferior als 80°C (temperatura de funcionament normal d'un MACI).

ESTAT DE L'ART DE LA GASIFICACIÓ A GHANA

Tant (Duku, Gu, & Haga, 2011) com (Mohammed, Mokhtar, Bashir, & Saidur, 2013), indiquen que la gasificació de biomassa a Ghana es troba en una etapa inicial encara d'investigació i desenvolupament, juntament amb l'avaluació de les plantes. També s'han dut a terme alguns estudis de viabilitat del potencial de cogeneració a partir de residus de la fusta, principalment. És a dir, actualment Ghana no compta amb cap instal·lació basada en la tecnologia de la gasificació en funcionament, malgrat existeixen altres instal·lacions basades en la biomassa com una planta de cogeneració (electricitat més calor) de 6MW que utilitza serradures i residus de la palma d'oli com a matèria prima o la construcció.

Cal destacar també que l'empresa estatunidenca Genser Energy està construint des de 2011 una planta de 90MW de tecnologia IGCC (Gasificació Integrada en Cicle Combinat) per a l'empresa minera Kinross Gold Corp. a Chirano, però que serà alimentada amb carbó i biomassa (Genser Energy, 2014).

En l'article (Dasappa, 2011), l'autor diu que existeixen una sèrie d'obstacles tècnics que han de ser abordats de manera prioritària amb l'objectiu d'augmentar la confiança tecnològica en la indústria local i per enfortir la capacitat nacional per fabricar, construir, operar i mantenir mini-xarxes basades en la gasificació a nivell de l'Àfrica subsahariana. A més a més, en el mateix article s'enumeren algunes de les barreres tècniques clau detectades:

- Les fonts de biomassa i la seva distribució geogràfica:
 - Manca una base de dades integral sobre el recurs de la biomassa disponible, els patrons d'usos actuals i el possible potencial d'energia en tots els països de l'Àfrica subsahariana. Un atlas de biomassa per a la regió seria un pas immediat cap a la implantació del potencial energètic a partir de biomassa.
- La demanda (per a energia, farratges, etc.) de biomassa (llenya i residus de collita) i la distribució geogràfica.
- La demanda d'electricitat i la demanda potencial d'electricitat (és a dir, amb l'electrificació) per àrees geogràfiques:
 - No hi ha dades completes sobre la necessitat d'electricitat en àmbit nacional, separades per a les zones urbanes i les rurals.
- La identificació d'àrees potencials amb bona concordança entre els recursos disponibles i la demanda potencial per al subministrament d'electricitat:
 - La informació no està disponible de la generació d'energia basada en combustibles fòssils existents a la regió, el que ajudaria en el desenvolupament d'estratègies per a la generació d'energia distribuïda per reemplaçar els combustibles fòssils.
- Aspectes tècnics de la gasificació:
 - Les normes i els estàndards en termes de rendiment d'energia renovable, fabricació, instal·lació i manteniment són febles i/o inexistents.
 - Hi ha manca de capacitats de fabricació local i/o muntatge de components de tecnologies d'energies renovables en l'actualitat, malgrat que els coneixements, les habilitats i l'experiència per operar sistemes d'energia renovable estan disponibles a la regió.
 - Hi ha una limitada capacitat tècnica per dissenyar, instal·lar, operar, gestionar i mantenir mini-xarxes basades en energies renovables.

2. CONTEXT DE LES COMUNITATS

En aquesta primera secció es descriuran els aspectes més rellevants per entendre el context actual de les 5 comunitats objecte d'anàlisi, tant a nivell geogràfic com socioeconòmic. A més a més, al final de la secció es farà un destacat èmfasi en el context energètic d'aquestes.

Les dades i descripcions que es detallen a continuació són fruit de dues visites desenvolupades a les comunitats en el marc del projecte, una primera a mitjans de 2013 i una segona durant l'estada el novembre del mateix any, i de les quals s'elaborà l'informe de viabilitat del projecte (KITE, UPC and TEC-KNUST, 2013). Els objectius d'aquelles visites foren:

- Definir el context socioeconòmic general de les comunitats, incloent-hi les estructures i pràctiques de gestió de recursos de la comunitat local.
- Avaluar la quantitat de recursos de biomassa de les comunitats.
- Determinar les formes d'energia que actualment s'utilitzen per a aplicacions domèstiques i productives, com ara el processament de productes agrícoles a les mateixes.

2.1. UBICACIÓ

Les 5 comunitats d'estudi es troben ubicades en les regions Brong Ahafo i Northern regions de Ghana. A la 0, es pot trobar quines són aquestes comunitats i també informació relacionada d'elles.

Taula 2.1. Comunitats objecte d'estudi

Nom	Districte	Regió
Seneso	Atebubu-Amantin	Brong Ahafo
Boniafo	Atebubu-Amantin	Brong Ahafo
Bompa	Atebubu-Amantin	Brong Ahafo
Jaman Nkwanta	Kpandai	Northern
Nakpaye	East Gonja	Northern

Font: KITE, UPC, TEC-KNUST. Feasibility Report, August, 2013

SENESEO

Seneso es troba en el districte d'Atebubu-Amantin a la regió Brong Ahafo i està situat a 30km aproximadament al sud d'Atebubu, capital del districte. Aquestes són les seves coordenades GPS dins les quals es troba la comunitat:

Taula 2.2. Seneso GPS Coordinates

Longituds	0° 54' 11" (W)	0° 53' 55" (W)
Latituds	7° 30' 50" (N)	7° 30' 40" (N)

Font: Treball de camp, novembre de 2013

BONIAFO

Boniafo, igual que Seneso, pertany al districte d'Atebubu-Amantin a Brong Ahafo i a una distància de 7km de la capital del districte. Les seves coordenades GPS dels límits de la comunitat són:

Taula 2.3. Boniafo GPS Coordinates

Longituds	0° 56' 18" (W)	0° 56' 6" (W)
Latituds	7° 44' 3" (N)	7° 43' 52" (N)

Font: Treball de camp, novembre de 2013

BOMPA

Bompa és, de les 3 comunitats del mateix districte, la comunitat més allunyada d'Atebubu, aproximadament a 75km (amb vehicle) a l'est d'aquesta última.

Taula 2.4. Bompa GPS Coordinates

Longituds	1° 19' 20" (W)	0° 18' 57" (W)
Latituds	7° 42' 20" (N)	7° 42' 3" (N)

Font: Treball de camp, novembre de 2013

JAMAN NKWANTA

La comunitat de Jaman Nkwanta és la més oriental de les 5 comunitat d'estudi, ubicada prop del llac Volta i a aproximadament 11km de la capital del districte de Kpandai. A la Taula 2.5, s'hi poden veure les seves coordenades, a més a més de constatar que aquesta comunitat es troba ubicada molt a prop del meridià de Greenwich.

Taula 2.5. Jaman Nkwanta GPS Coordinates

Longituds	0° 2' 54" (W)	0° 2' 41" (W)
Latituds	8° 22' 47" (N)	8° 22' 37" (N)

Font: Treball de camp, novembre de 2013

NAKPAYE

Finalment, Nakpaye es troba situada a 10km (aprox.) de Salaga, capital del districte de mateix nom. Nakpaye és la més septentrional de les 5 comunitats beneficiàries.

Taula 2.6. Nakpaye GPS Coordinates

Longituds	0° 26' 21" (W)	0° 26' 9" (W)
Latituds	8° 34' 2" (N)	8° 33' 58" (N)

Font: Treball de camp, novembre de 2013

A continuació es mostra gràficament la ubicació de cada comunitat sobre un plànol de Google Maps:

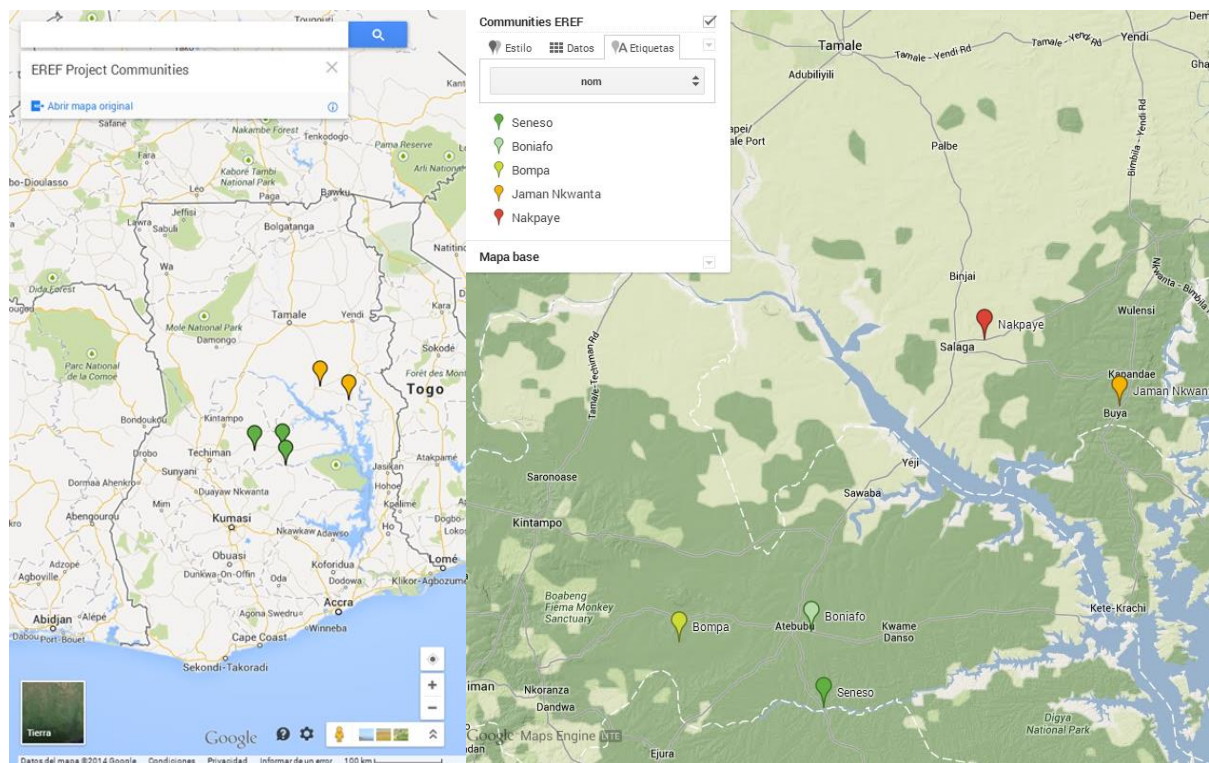


Figura 2.1. Ubicació de les comunitats. Brong Ahafo (en verd), Northern Region (en groc).

Font: Elaboració pròpia amb Google Maps Engine

2.2. CONTEXT SOCIOECONÒMIC

Les 5 comunitats d'anàlisi es caracteritzen per ser assentaments rurals conformats per un conjunt llars, entre 24 i 99, i altres construccions agrupades en una àrea delimitada, sent la comunitat de Bompa la més extensa (entre les dues construccions més allunyades hi ha entre 710 i 715 metres) i, al mateix temps, la més dispersa.

Taula 2.7. Sumari de llars i la població de cadascuna de les comunitats

Dades demogràfiques	Seneso	Boniafo	Bompa	Jaman Nkwanta	Nakpaye
Població estimada	528 hab.	614 hab.	635 hab.	894 hab.	586 hab.
Núm. llars	53	48	98	42	24

Font: KITE, UPC, TEC-KNUST. Feasibility Report, August, 2013

Les llars són construïdes amb palla i fang o bé totxos, ciment i xapa metàl·lica i són els edificis comunitaris (escoles, esglésies i mesquites) els que utilitzen primordialment la construcció amb totxos, ciment i xapa. Cal tenir en compte que la distància i l'estat del camí de comunicació amb els nuclis més grans de població (capitals de districte, normalment) dificulta l'accés a aquests materials i, en conseqüència, afecta considerablement al preu d'aquests últims.

Entre el 80% i el 95% de la població d'aquestes comunitats (KITE, UPC and TEC-KNUST, 2013) fan de l'agricultura el seu principal mitjà de vida i la resta com a font secundària d'ingressos. Cada agricultor per cultivar un tros de terra d'entre 3 i 13 ha. Els principals cultius són el blat de moro, el fesol, el cacauet, l'arròs, el nyam i la mandioca. A les comunitats de Bompa i les dues de la Northern Region, s'hi cultiva el mill (en quantitats modestes en comparació amb les anteriors). Finalment, a Nakpaye també s'hi cultiva la soja, com un dels principals cultius en aquesta comunitat, i el sorgo.

A part de l'agricultura, també s'hi desenvolupen altres activitats econòmiques com la producció de carbó vegetal, la pesca, la ramaderia i el comerç al detall, com els més destacats. Sovint, és en aquest tipus d'activitats de servei (com el comerç) i d'elaboració de productes manufacturats (com per exemple la mantega de karité a Nakpaye) on les dones hi desenvolupen un rol clau, sent-ne les encarregades de dur-les a terme.

A la Taula 2.8, s'hi troben resumits els diferents tipus de serveis o infraestructures disponibles a les 5 comunitats. A part d'indicar si existeix el servei o no a la comunitat, s'indica també el nombre de punts on s'ofereix el servei entre parèntesis i, en alguns casos i en el cas que no existeixi, el nucli més proper on els seus habitants poden trobar-lo.

Taula 2.8. Resum dels serveis i infraestructures que es poden trobar a cadascuna de les comunitats d'estudi

Servei / Infraestructura	Seneso	Boniafo	Bompa	Jaman Nkwanta	Nakpaye
EDUCACIÓ	Kindergarten (4-6 anys)	Sí (1)	Sí (1)	Sí (1)	Sí (1)
	Primary School (6-11 anys)	Sí (1)	Sí (1)	Sí (1)	Sí (1)
	Junior High School (12-15 anys)	Mem (20km)	Atebubu (7km)	Atebubu (75km)	Buya (2km)
SALUT	Hospital	Mem (20km)	Atebubu (7km)	Atebubu (75km)	Buya (2km)
AIGUA I SANEJAMENT	Pou	Sí (1)	Sí (1)	Sí (1)	Sí (1)
	Font de bombeig manual	-	-	-	-
	Font canalitzada	-	-	-	-

Servei / Infraestructura		Seneso	Boniafo	Bompa	Jaman Nkwanta	Nakpaye
	Riu	Sí (1)	Sí (1)	Sí (1)	Sí (1)	Sí (1)
	Bassa	-	-	Sí (1)	-	Sí (1)
	Lavabo públic	-	-	-	-	-
TELE- COM.	Xarxa mòbil	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	Ràdio	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
MITJANS DE TRANSPORT	Bicicletes	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	Motocicletes	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	Cotxes	-	-	-	-	-
	Camions	-	-	-	-	-
MERCAT I NEGOCIS	Mercat	Atebubu (30km)	Atebubu (7km)	Atebubu (75km)	Kpandai (11km)	Salaga (10km)
	Botiga al detall	Sí (3)	Sí (4)	Sí (3)	Sí (3)	Sí (2)
	Bars	Sí (2)	Sí (1)	Sí (1)	Sí (2)	Sí (2)
	Punt de venda de menjars preparats	Sí (1)	Sí (1)	Sí (1)	Sí (1)	Salaga (10km)
	Perruqueria	Atebubu (30km)	Atebubu (7km)	Atebubu (75km)	Kpandai (11km)	Salaga (10km)
	Barberia	Atebubu (30km)	Atebubu (7km)	Atebubu (75km)	Kpandai (11km)	Sí (1)
	Modisteria	Atebubu (30km)	Atebubu (7km)	Atebubu (75km)	Kpandai (11km)	Salaga (10km)
	Taller de bicicletes	-	-	Sí (1)	-	-
	Fusteria	-	-	-	Sí (1)	-
	MFP (Multifunctional Platform)	Sí (2)	-	Sí (1)	Sí (2)	Sí (1)

Font: KITE, UPC, TEC-KNUST. Feasibility Report, August, 2013

Aquestes conjunts de llars i construccions/serveis seran les caldrà tenir en consideració en el moment d'estimar la demanda elèctrica per després dimensionar els equips de generació. A més a més, podem avançar que amb l'electrificació de les comunitats sorgiran noves necessitats d'enllumenat públic, bombeig d'aigua, entre d'altres.

2.2.1. UBICACIÓ DE LES CONSTRUCCIONS

En les 2 visites de camp dutes a les comunitats d'estudi, es varen capturar les coordenades GPS (aproximades) de cadascuna de les llars¹ i dels serveis i infraestructures comunals presentats a les taules prece-dents (Taula 2.7 i Taula 2.8), gràcies a un receptor GPS portàtil GARMIN cedit pel Grup de Recerca en Cooperació i Desenvolupament Humà de la UPC. A partir de les coordenades obtingudes, s'han pogut representar les comunitats sobre plànol (Figura 2.2, Figura 2.3, Figura 2.4, Figura 2.5 i Figura 2.6).

¹ Una llar pot estar conformada per una o més construccions en la qual hi viu una mateixa família.

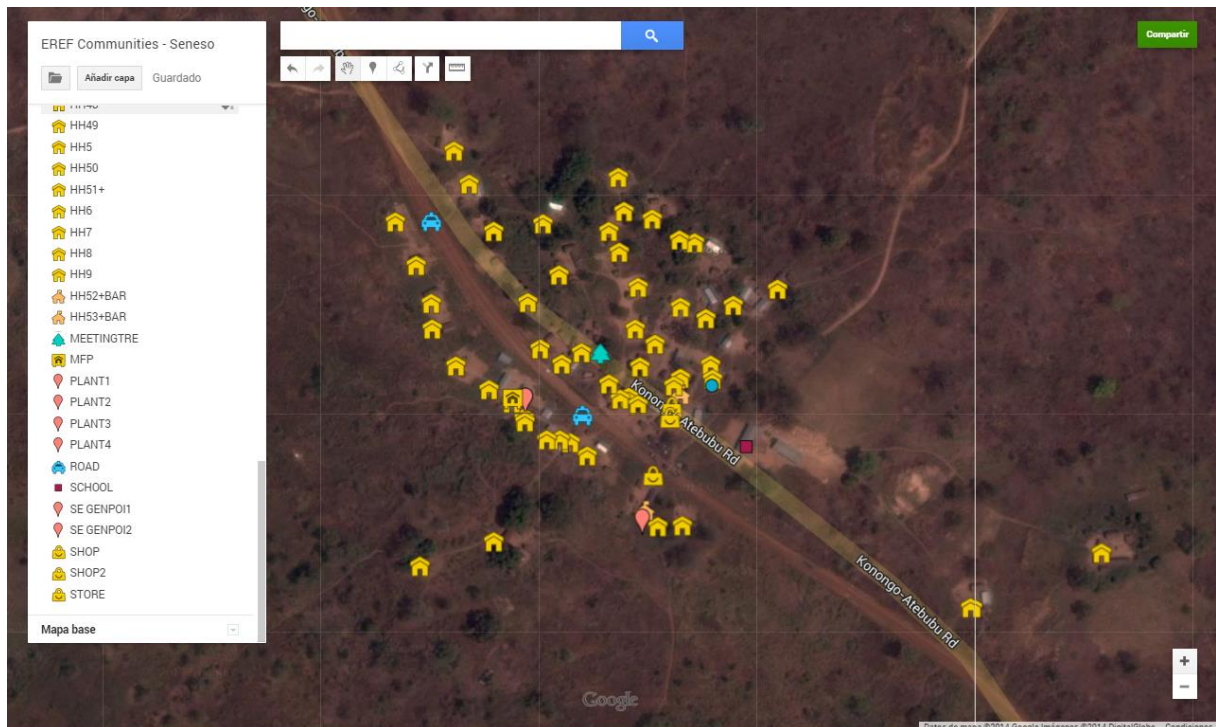


Figura 2.2. Ubicació de les infraestructures de Seneso obtingudes al maig de 2013.

Font: Elaboració pròpia amb Google Maps Engine

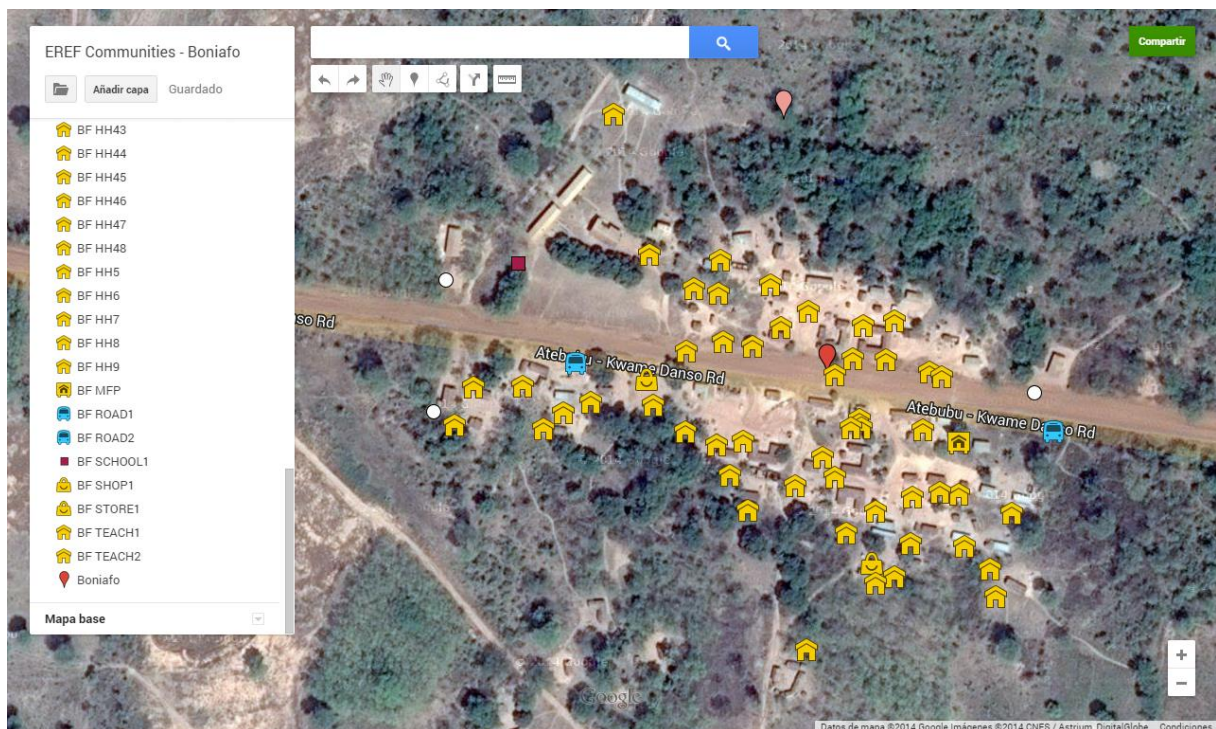


Figura 2.3. Ubicació de les infraestructures de Boniafo obtingudes al novembre de 2013.

Font: Elaboració pròpia amb Google Maps Engine

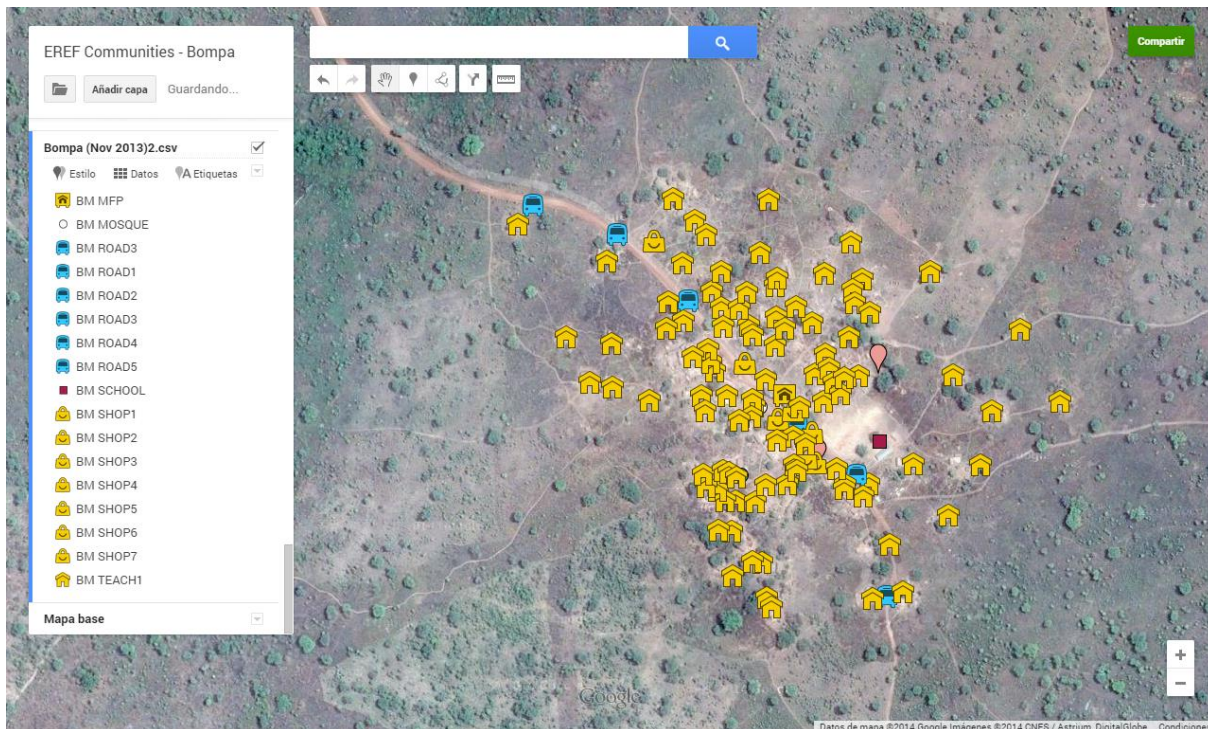


Figura 2.4. Ubicació de les infraestructures de Boma obtingudes al novembre de 2013.

Font: Elaboració pròpia amb Google Maps Engine

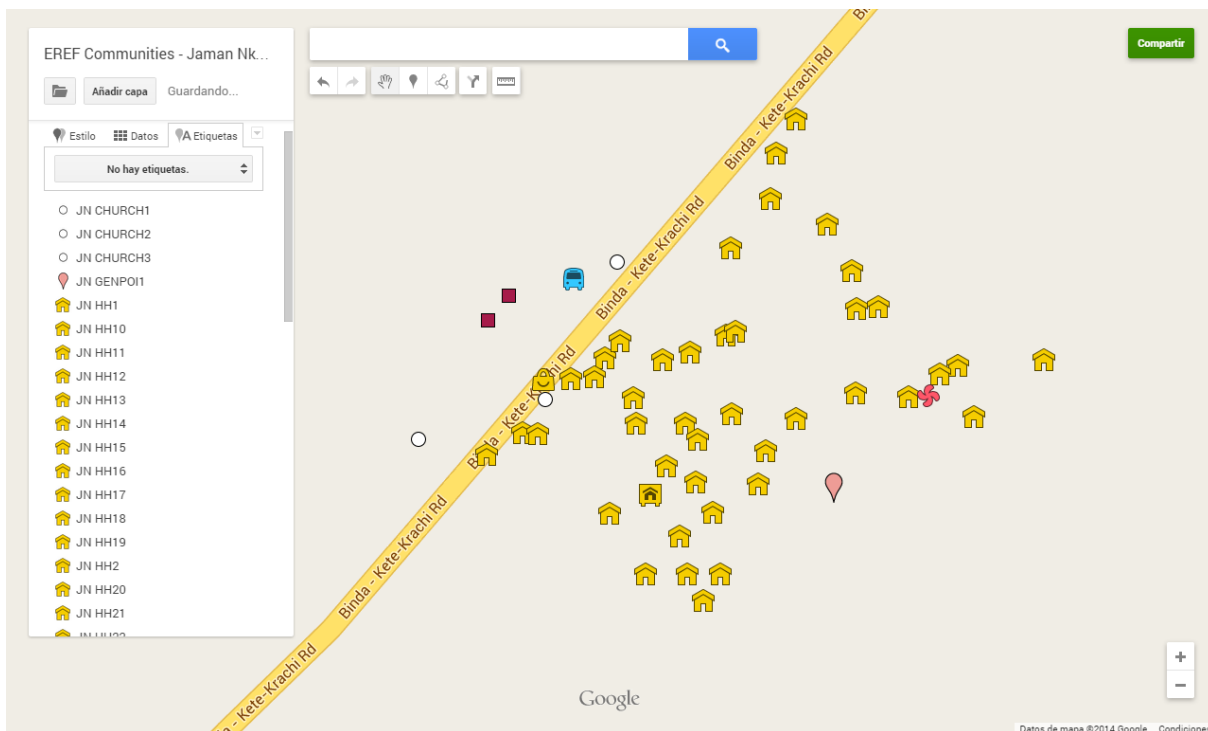


Figura 2.5. Ubicació de les infraestructures de Jaman Nkwanta obtingudes al novembre de 2013.

Font: Elaboració pròpia amb Google Maps Engine

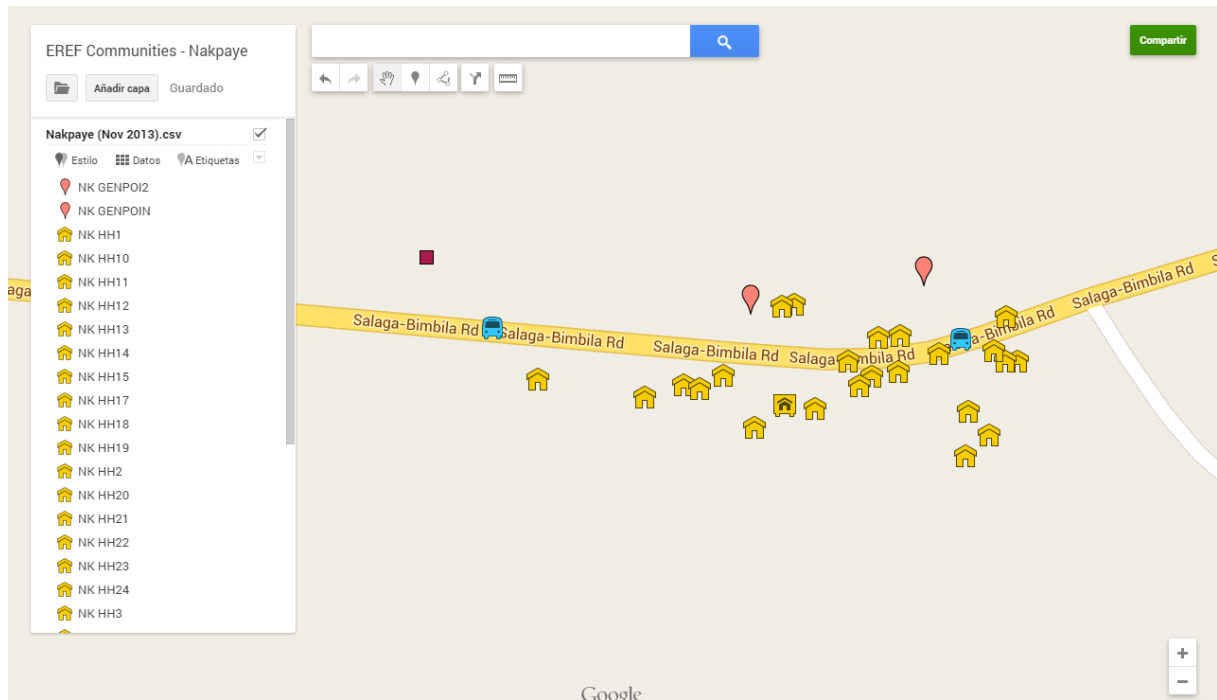


Figura 2.6. Ubicació de les infraestructures de Nakpaye obtingudes al novembre de 2013.

Font: Elaboració pròpia amb Google Maps Engine

2.3. CONTEXT ENERGÈTIC. FORMES D'ENERGIA I USOS.

2.3.1. RESIDENCIAL

En l'estudi de camp que es va realitzar a maig de 2013, es va poder constatar que les llars d'anàlisi utilitzen principalment 4 fonts energètiques: la llenya, el carbó, les bateries (piles tipus D d'1,5V) i electricitat; per satisfer les seves necessitats diàries.

A l'hora de cuinar i escalfar aigua, les fonts d'energia utilitzades són la llenya i el carbó, independentment de quina sigui la comunitat, sobretot la llenya doncs més del 90% de les llars l'utilitzen. Després, en la il·luminació de les llars, el 100% d'aquestes utilitzen bateries complementant-les amb làmpades de querosè (excepte a Seneso que no s'utilitza) i amb candeles (només a les comunitats de la Northern Region). El motiu pel qual l'ús de piles és universal és a causa de l'alt cost del querosè i les candeles, de la millor il·luminació que ofereixen les llars i de la seva practicitat, ja que és una font més segura, fàcil d'usar i neta (segons l'opinió dels enquestats). Aquestes 3 fonts energètiques poden ser comprades a les mateixes comunitats, malgrat la majoria de la població prefereix fer-ho als nuclis de població més grans quan hi viatgen.

Les bateries tornen a ser la font principal per tal d'alimentar els aparells de ràdio, tenint en compte que és l'única font disponible apte per aquest fi. Per tant, el seu consum va lligat a la tinença d'aquest tipus d'aparells i del seu ús. Les llars utilitzen les ràdios com a font d'informació i entreteniment.

Per últim, l'ús dels aparells mòbils ve limitat a l'accés a una font elèctrica suficientment potent com poder carregar les bateries d'aquests. La majoria de les llars porten els seus mòbils a botigues específiques per aquest fi que hi ha a d'altres nuclis de població. El cost d'una sessió de càrrega de 2 o 3 hores és de 0,5 GH¢. Hi ha una excepció que és Seneso, doncs un dels MFP que hi ha a la comunitat genera electricitat quan el molí està funcionant i la majoria de la seva població aprofita per carregar el seu telèfon a un cost d'1 GH¢ per una sessió de 2 hores. Tot i aquesta disponibilitat, la intermitència del servei fa que alguns membres de la comunitat prefereixin anar a altres comunitats.

A la Taula 2.9, es troben els percentatges de les llars que utilitzen cadascuna de les 6 fonts energètiques esmentades anteriorment en funció dels usos que li donen.

Taula 2.9. Usos i fonts de l'energia de les llars de les 5 comunitats

ÚS DE L'ENERGIA	FONT D'ENERGIA	SENEO	BONIAFO	BOMPA	JAMAN NKWANTA	NAKPAYE
Escalfar aigua	Llenya	91%	96%	96%	96%	100%
	Carbó	82%	30%	40%	68%	70%
Cuinar	Llenya	91%	96%	96%	96%	100%
	Carbó	82%	30%	40%	96%	70%
Il·luminació	Bateries	100%	100%	100%	100%	100%
	Querosè	0%	9%	9%	44%	22%
	Candeles	0%	0%	0%	20%	9%
Alimentar aparells de ràdio	Bateries	91%	88%	88%	92%	87%
Carregar telèfons mòbils	Electricitat	73%	71%	55%	84%	82%

Font: KITE, UPC, TEC-KNUST. Feasibility Report, August, 2013

2.3.2. PRODUCTIU

A les 6 fonts esmentades anteriorment, cal afegir-li una setena font d'energia: el gasoil. Excepte Boniafo, la resta de comunitats disposen encara de MFPs en funcionament, en les quals s'utilitzen motors Diesel per al processament de les collites. L'ús d'aquestes MFPs depèn de cada comunitat.

Tant a Seneso com a Bompa, el molí s'utilitza bàsicament per triturar el blat de moro de les seves collites. Seneso, a més a més, té a disposició el seu molí a productors d'altres comunitats que ho necessitin i aprofiten, també, que el motor està en marxa per la càrrega de telèfons mòbils. El consum d'aquestes dues comunitats és de 7 i 12 galons mètrics (32 i 55 litres) al mes (segons dades obtingudes en l'enquesta realitzada el maig de 2013 als responsables del MFP), respectivament.

En el cas de les dues comunitats de la Northern Region, Jaman Nakwanta i Nakpaye, utilitzen les MFP per triturar i moldre el blat de moro i el mill i, també, per ratllar cassava. El seu consum és de 20 i 13 galons mètrics de gasoil (aprox. 91 i 59 litres), respectivament.

2.3.3. COST ENERGÈTIC

A partir dels consums obtinguts mitjançant les enquestes realitzades, s'ha pogut estimar el cost energètic actual a cada llar i del(s) MFP(s) per cada comunitat (Taula 2.10).

Taula 2.10. Despesa estimada en energia (en GH¢/mes) a casa llar i del(s) MFP(s) per cada comunitat.

ÚS DE L'ENERGIA	SENEO		BONIAFO		BOMPA		JAMAN NKWANTA		NAKPAYE	
	Llar	MFP	Llar	MFP	Llar	MFP	Llar	MFP	Llar	MFP
Il·luminar	5,30	3,50	8,40	-	10,00	2,50	12,10	3,50	11,50	2,50
Alimentar aparells de ràdio i música	4,45	-	5,80	-	6,60	-	9,11	-	7,45	-
Carregar telèfons mòbils	20,00	-	4,5	-	9,50	-	7,50	-	5,50	-

ÚS DE L'ENERGIA	SENEO		BONIAFO		BOMPA		JAMAN NIKWANTA		NAKPAYE	
	Llar	MFP	Llar	MFP	Llar	MFP	Llar	MFP	Llar	MFP
Processament agrícola	-	33,25	-	-	-	114,00	-	96,00	-	124,80
TOTAL	29,35	36,75	18,70	-	25,80	117,50	28,71	99,50	24,45	127,30

Font: KITE, UPC, TEC-KNUST. Feasibility Report, August, 2013

Per fer aquesta estimació dels costos energètics, es van establir un seguit d'hipòtesis que s'exposen a l'Annex A.

Finalment, destacar que en el moment de fer el càlcul de la demanda i del seu corresponent perfil caldrà tenir en compte aquestes necessitats energètiques. A més a més, el cost actual de l'energia a cada comunitat caldrà tenir-ho en compte en el moment d'establir la tarifa elèctrica, doncs haurà de ser menor a la despesa actual perquè les llars vulguin connectar-se a la micro-xarxa, juntament amb la seva voluntat de pagar.

3. CAS D'ESTUDI

Un cop es coneix el context i es disposa de dades sobre les necessitat energètiques de les comunitats, es procedeix al càlcul de la demanda energètica per a cada comunitat i s'estudia la disponibilitat de recursos a aquestes; per després poder introduir-ho a un software (en aquest cas, HOMER) que ens permeti realitzar una simulació de les diferents micro-xarxes i obtenir una proposta tècnica optimitzada.

3.1. DEMANDA DE POTÈNCIA I ENERGIA

Tal i com s'ha esmentat anteriorment, les comunitats d'estudi no tenen encara connexió elèctrica a la xarxa nacional. Per aquest motiu, la demanda de potència de cada comunitat no es mesurable directament i s'ha de calcular una estimació a través d'un mètode de previsió *bottom-up*, centrat en els usos finals o en les necessitats elèctriques finals a nivells desagregats: residencial, institucional (o comunal), comercial i industrial, en el nostre cas; per determinar la demanda total com a composició de les demanes de tots els usuaris potencials.

Per fer aquesta previsió, va ser escollida una comunitat rural connectada a la xarxa, amb característiques similars a les comunitats beneficiàries, com a referència per estimar les seves demandes elèctriques. Aquesta comunitat escollida va ser Nyomoase (districte d'Atebubu-Amantin, regió Brong Ahafo).

A banda de l'anterior, quan s'estima la demanda de potència per un emplaçament del qual volem conèixer les seves necessitats de generació elèctrica, és necessari considerar escenaris futurs en previsió d'un increment de la demanda de potència a causa del creixement de la població o de l'augment de les necessitats elèctriques de la mateixa població. D'acord amb això, han estat definits 3 escenaris:

- **Escenari de partida (*baseline*):** demanda esperada actual (2013) sense considerar canvis futurs en la demanda de la comunitat.
- **Escenari 1:** demanda esperada al 2023 considerant només el creixement de la població.
- **Escenari 2:** demanda esperada al 2023 considerant un increment de les necessitats elèctriques de la població, a més a més del creixement demogràfic.

A més a més i per tal de simplificar l'estimació de la demanda de les llars, han estat definits 4 perfils segons el consum energètic mensual. La Taula 3.1 mostra aquest perfils definits i les seves característiques:

Taula 3.1. Segmentació de la demanda de les llars

Perfil de càrrega	Energia consumida (kWh al mes)	Despesa màxima (GH¢ al mes)	% de les llars <i>Baseline</i> i Escenari 1	% de les llars Escenari 2
Molt baix (VL) ¹	Menys de 20	3,1	10,91%	8,73%
Baix (L) ¹	20–50	7,8	32,73%	28,36%
Mig (M) ¹	50–100	31,5	45,82%	41,02%
Alt (H) ¹	Per sobre de 100	Per sobre de 31,5	10,55%	21,89%

¹ Les sigles venen de l'anglès: very low, low, medium i high.

Font: KITE, UPC, TEC-KNUST. Feasibility Report, August, 2013

Com que no es disposen d'estudis del creixement de la població de cadascuna de les comunitats, es prenen com a referència els valors de creixement de les respectives regions dels últims 10 anys, és a dir, d'un 2,3% a Brong Ahafo i d'un 2,9% a Northern region (Ghana Statistical Service, 2013).

Un cop definits aquests supòsits, les demandes previstes per a cadascuna de les comunitats poden ser calculades.

3.1.1. RESULTATS DE LA PREVISIÓ DE LA DEMANDA ELÈCTRICA PER SENESO

La Taula 3.2 i la Taula 3.3 mostren el creixement hipotètic assumit per Seneso. En aquest cas, s'ha estimat un creixement mitjà d'un 2,3% anual per a les llars. S'ha considerat que l'increment de serveis comunitaris és gradual en el temps, al contrari que en el cas de les activitats comercials que s'ha considerat un augment sobtat d'aquestes després de l'electrificació.

Taula 3.2. Creixement estimat del nombre de llars per Seneso

Perfil de càrrega	Nombre de llars		
	Escenari base	Escenari 1	Escenari 2
Molt baix (VL)	6	7	6
Baix (L)	17	22	19
Mig (M)	24	30	27
Alt (H)	6	7	15
TOTAL	53	67	67

Font: TTA. ELECTRICITY DEMAND FORECAST analysis template v4.0, 2011

Taula 3.3. Increment potencial estimat d'activitats socioeconòmiques a Seneso

Activitats socials, comunitàries i comercials	Abans de l'electrificació (situació actual)	Després de l'electrificació (any 2023)
Escoles	1	2
Centres de salut	0	1
Confecció de roba	0	1
Mini-botigues	3	5
Bars	3	4
Barberies	0	2
Perruqueries	0	2
Subministrament d'aigua bombejat	0	1
Molí	2	2

Font: KITE, UPC, TEC-KNUST. Feasibility Report, August, 2013

Un cop definit el creixement del nombre de llars i de serveis, es pot calcular la demanda global de la comunitat seguint el perfil de càrrega de la comunitat referència, Nyomoase. A la Taula 3.4, es troben la demanda desagregada pels 4 sectors de consum i per cadascun dels 3 escenaris exposats anteriorment. A més a més, s'ha calculat la demanda de potència màxim o pic de la comunitat, doncs es tracta d'un paràmetre clau en el disseny de la micro-xarxa.

Taula 3.4. Increment estimat de la demanda d'energia i potència elèctrica a Seneso

			Escenari base	Escenari 1	Escenari 2
Demanda elèctrica	Residencial kWh/mes	VL	29	36	29
		L	304	381	330
		M	1.214	1.524	1.365
		H	419	526	1.092
		Total	1.966	2.468	2.816
	Comunitari kWh/mes		1.643	1.947	2.069
	Comercial kWh/mes		53	53	373
	Industrial kWh/mes		467	467	958
	Total kWh/mes		4.129	4.935	6.217
	Total kWh/dia		136	162	204
Demanda de potència	Potència pic kW		13,7	16,8	18,8

Font: TTA. ELECTRICITY DEMAND FORECAST analysis template v4.0, 2011

Si analitzem la taula anterior, s'observa com el consum residencial predomina per sobre de la resta de sectors, en suposar gairebé la meitat del total previst a 10 anys vista, seguit del consum de les instal·lacions comunals (aprox. 1/3).

Finalment, a la Figura 3.1, es mostra el perfil diari de càrrega previst per Seneso, on el pic de la demanda se situa entre les 7 i les 8 de la tarda quan la població torna de treballar i comença a fer-se o ja és pràcticament fosc.

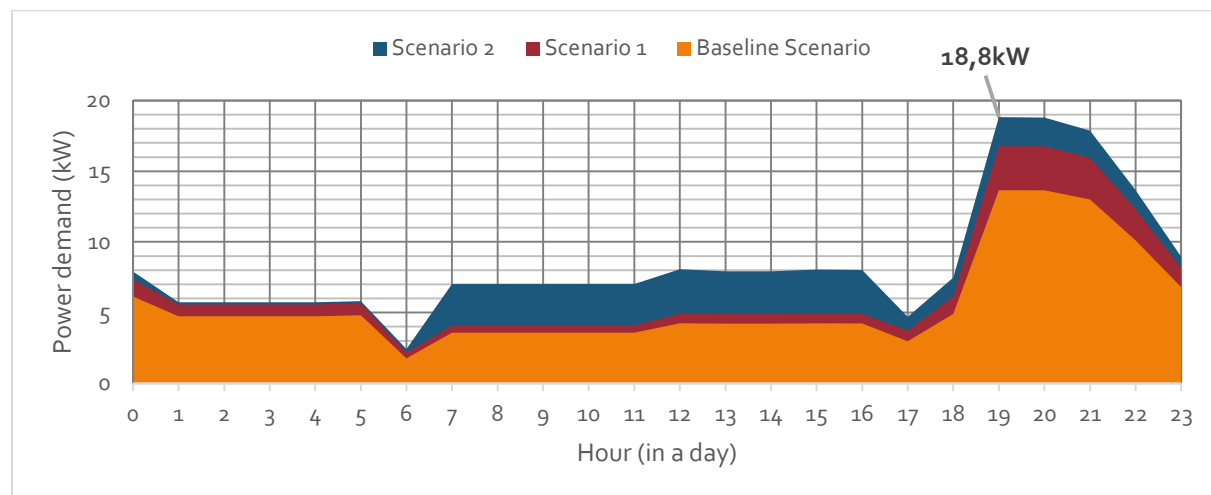


Figura 3.1. Perfil de càrrega diari de Seneso

Font: Elaboració pròpia

3.1.2. RESULTATS DE LA PREVISIÓ DE LA DEMANDA ELÈCTRICA PER LES 4 COMUNITATS RESTANTS

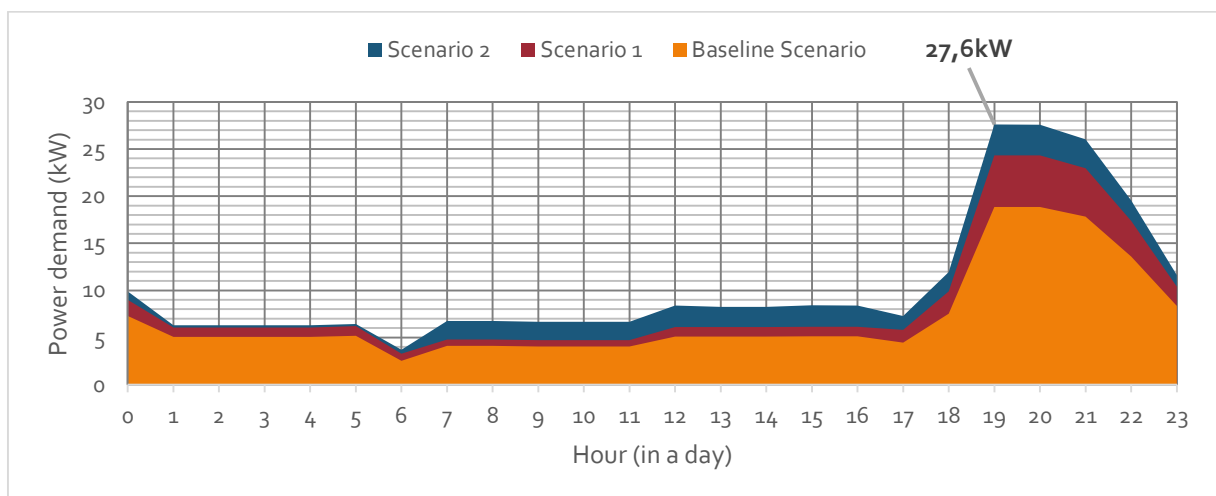
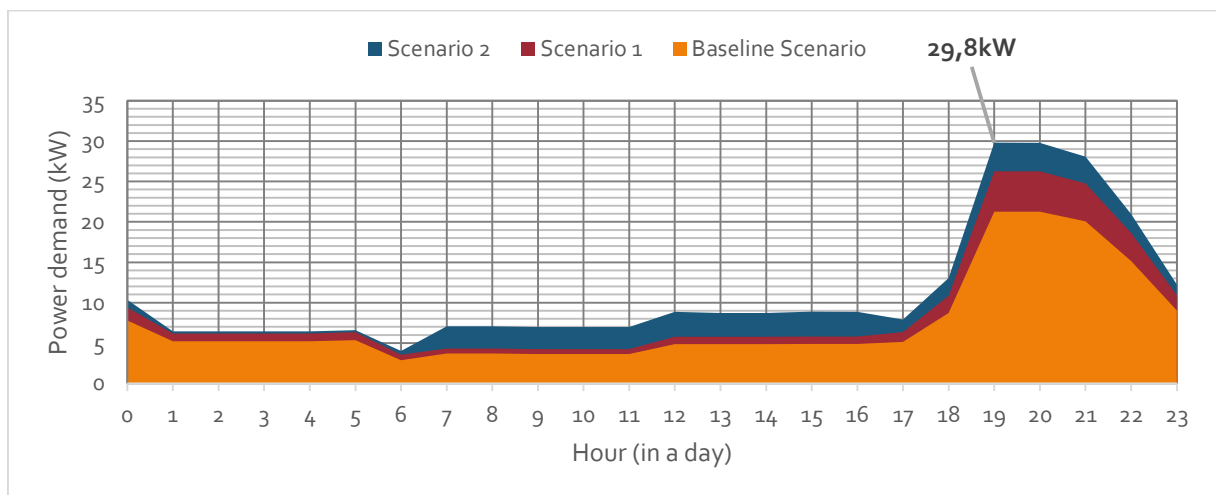
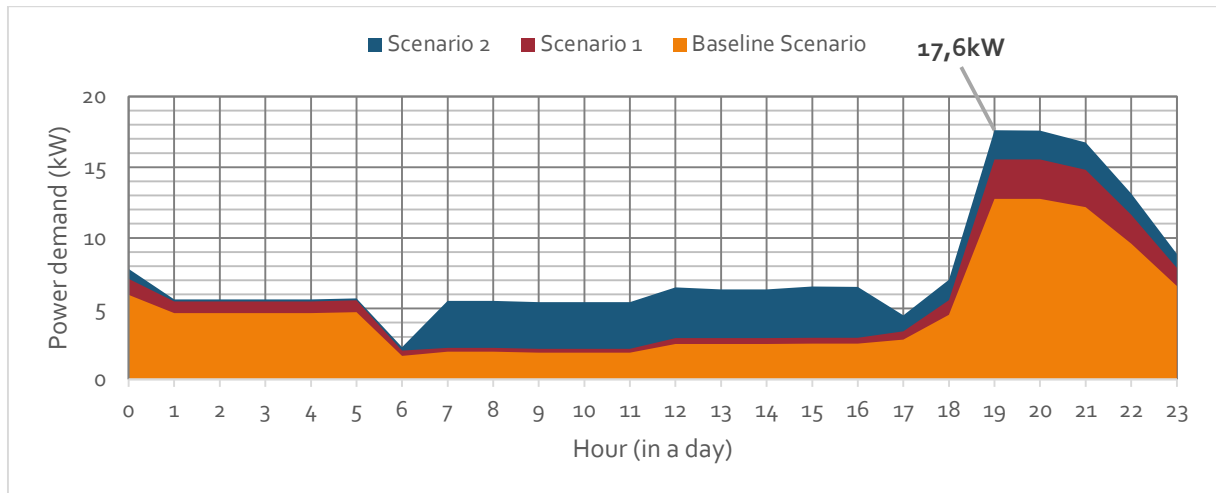
D'igual manera al procés seguit per Seneso, es calculen les demandes elèctriques i els perfils de càrrega per a cadascuna de les comunitats restants. Amb la fi d'escurçar la lectura, només es presentaran a continuació les demandes desagregades per a l'escenari 2, doncs serà l'utilitzat per al dimensionament de les diferents micro-xarxes, i el perfil de càrrega de cadascuna de les comunitats.

Taula 3.5. Increment estimat de la demanda d'energia i potència elèctrica a Boniafo, Bompa, Jaman Nkwanta i Nakpaye

		Escenari 2 a:	Boniafo	Bompa	Jaman Nkw.	Nakpaye
Demanda d'energia elèctrica	Residencial kWh/mes	VL	26	54	49	14
		L	299	611	555	159
		M	1.236	2.523	2.293	655
		H	989	2.020	1.836	524
		Total	2.550	5.207	1.836	1.352
	Comunitari kWh/mes		1.927	1.927	1.927	1.927
	Comercial kWh/mes		624	515	515	518
	Industrial kWh/mes		484	493	493	947
	Total kWh/mes		5.586	8.143	7.668	4.745
	Total kWh/dia		184	268	252	156
Demanda de potència	Potència pic kW		17,6	29,8	27,6	12,0

Font: TTA. ELECTRICITY DEMAND FORECAST analysis template v4.0, 2011

Cal tenir en compte que **el consum per llar a Jaman Nkwanta s'ha multiplicat per un factor igual a 2**, doncs durant la visita de camp a les comunitats de novembre de 2013 es detectà que les llars a dita comunitat eren significativament més grans, pràcticament el doble que la resta de comunitats estudiades.



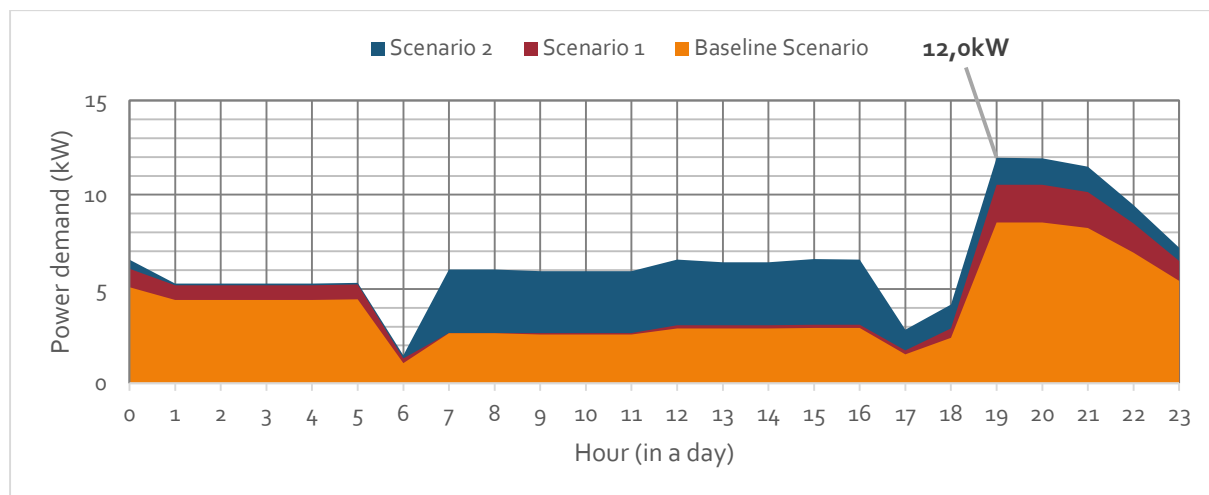


Figura 3.5. Perfil de càrrega diari de Nakpaye

Font: Elaboració pròpia

A l'Annex B, es pot trobar el creixement estimat del nombre de llars i l'increment potencial de serveis socioeconòmics de Boniafo, Bompá, Jaman Nkwanta i Nakpaye. Tanmateix, a l'Annex C, l'increment estimat de la demanda d'energia i potència per als 3 escenaris plantejats per cadascuna de les 4 comunitats anteriorment esmentades.

3.2. RECURSOS ENERGÈTICS

Un cop es coneix la demanda energètica que cal satisfer de les comunitats beneficiàries, és necessari conèixer quins són els seus recursos energètics disponibles que, a més a més, són transformables en electricitat i poder ser distribuïda per una xarxa. A més a més, caldrà considerar no només els factors tècnics, sinó també el marc ideològic on s'emmarca la present proposta.

Un dels objectius del projecte EREF (KITE, UPC and TEC-KNUST, 2011) és la utilització de fonts renovables per a l'autosuficiència del subministrament elèctric de les 5 comunitats, amb la qual cosa es descarta (a priori) l'ús de fonts energètiques de subproductes del petroli, com el gasoil o la benzina. Un altre objectiu és també que la solució proposada creï un 'know-how' que permeti poder replicar l'experiència a altres comunitats, en un futur.

En el resum de la proposta del projecte EREF (KITE, UPC and TEC-KNUST, 2011), s'hi pot llegir el següent fragment:

[...] This project is seeking to conduct a feasibility study to assess the conversion of biomass resources in the form of agricultural residue for electricity generation in these five off-grid MFP communities.

És a dir, la finalitat del projecte marc implica considerar la biomassa com el recurs energètic central d'anàlisi, que no té perquè ser el que té més potencial de generació. Paral·lelament, cal considerar que la biomassa no té perquè ser l'única font d'energia a ser usada, doncs pot no tenir el suficient potencial com per cobrir les necessitats de generació elèctrica, dictades al seu temps per la demanda de les comunitats.

Considerant tot el que s'ha exposat, s'analitzen a continuació cadascuna de les principals fonts d'energia renovable a tenir en compte per al projecte.

3.2.1. RECURSOS SOLARS

Al estar ubicada dins la zona intertropical, Ghana disposa d'un recurs solar¹ que es pot considerar força bo i sense grans variacions al llarg de l'any. Concretament, les comunitats beneficiàries disposen també d'un bon recurs solar (amb una radiació incident sobre l'horitzontal al voltant dels 6kWh/(m² · dia) de mitjana), tal i com es pot constatar amb els gràfics que es presenten a continuació elaborats amb dades obtingudes de la *NASA Surface meteorology and Solar Energy available data* (NASA, 2014):

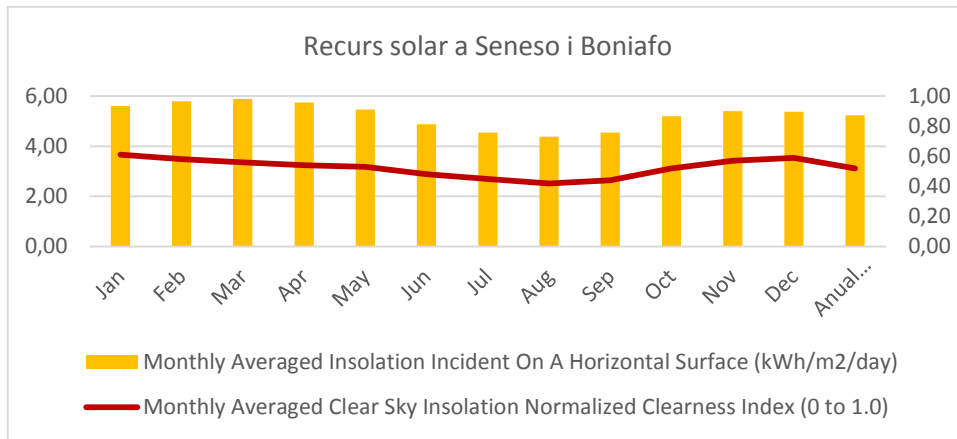


Figura 3.6. Recurs solar de Boniafo i Seneso
Font: Elaboració pròpia

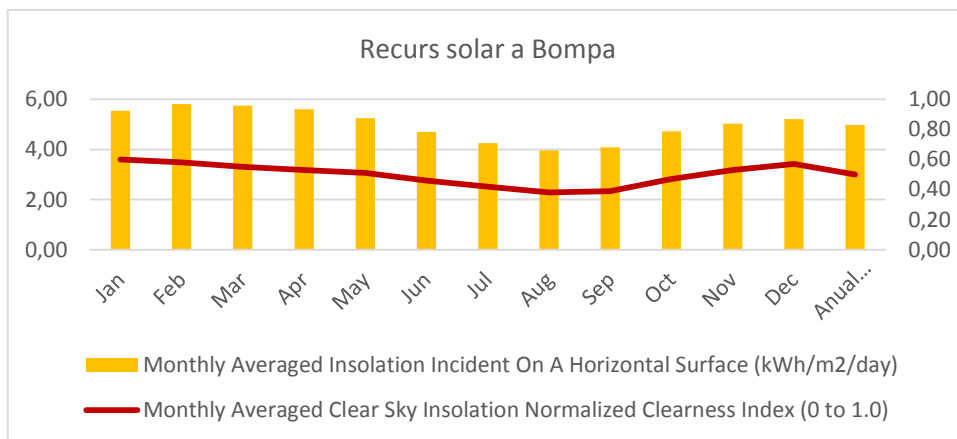


Figura 3.7. Recurs solar de Bompa
Font: Elaboració pròpia

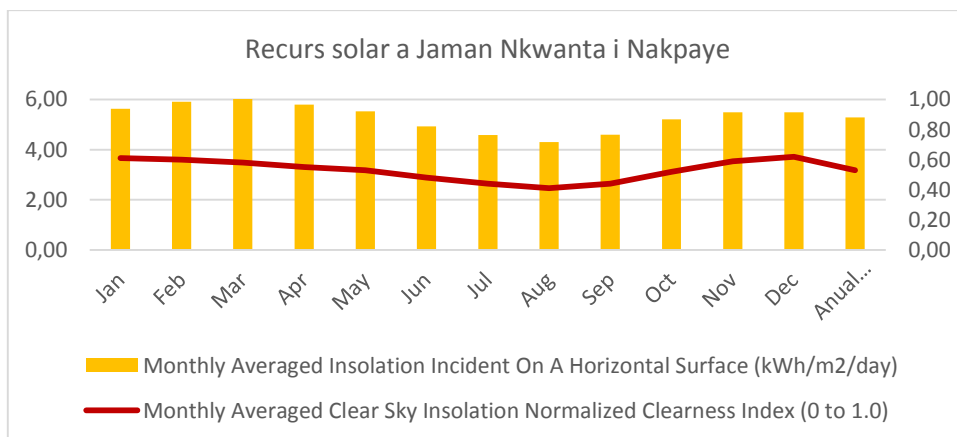


Figura 3.8. Recurs solar de Jaman Nkwanta i Nakpaye
Font: Elaboració pròpia

¹ Veure la o a l'Annex D.

3.2.2. RECURSOS DE BIOMASSA

Les dades que es presentaran en aquest subapartat són derivades del processament de les dades recollides, per part del TEC-KNUST, durant la primera visita que es va realitzar a les comunitats el maig de 2013. Les enquestes que es van realitzar als agricultors, a més a més d'altres dades complementàries a les enquestades, es van formular prèviament en base a resoldre les següents qüestions necessàries per conèixer la viabilitat d'usar la tecnologia de la gasificació com a font de generació elèctrica:

- Quins són els principals cultius que es produeixen en la comunitat?
- Són les matèries primeres que es generen prou adequades per alimentar la tecnologia de gasificació de forma periòdica (anual)?
- Quina part de la biomassa produïda estarà disponible per a la generació d'electricitat?
- Quina és la quantitat d'energia que està continguda en aquesta quantitat disponible?
- Quin percentatge de la demanda d'electricitat podrà ser coberta per aquesta quantitat de biomassa processada per generar electricitat?

A més a més, en ambdues visites de camp realitzades, es recolliren mostres dels residus de les diverses collites per analitzar-les posteriorment al laboratori i determinar-ne les seves propietats físiques i químiques (veure la Taula E.1 dels annexos).

Finalment, de la recol·lecció de dades i del seu posterior tractament s'ha pogut estimar la quantitat de biomassa, en forma de residu agrícola, que hi ha disponible per a la generació elèctrica. A l'Annex E, es troben tabulades aquest conjunt de dades. Tanmateix, a continuació es mostra la biomassa disponible anual (en kg) potencialment gasificable per comunitat i residu:

Taula 3.6. Residu anual disponible (en quilograms) a cada comunitat analitzada

Tipus de residu	Seneso	Boniafo	Bompa	Jaman Nkwanta	Nakpaye
Canya de blat de moro	154.329,3	235.747,8	83.605,5	61.119,0	36.305,1
Panotxa de blat de moro	51.443,1	78.582,6	27.868,5	20.373,3	12.101,4
Pellofa de blat de moro	61.731,8	94.299,3	33.442,2	24.447,6	14.522,4
Palla de fesols	61.731,9	1.841,4	22.167,9	26.265,6	23.083,2
Esclòfia de fesols	11.989,8	491,4	5.911,2	7.003,8	6.156,0
Palla de cacauet	39.810,6	35.519,4	26.465,4	16.884,9	11.366,1
Esclòfia de cacauet	8.807,4	7.857,9	5.855,4	3.735,9	2.514,6
Palla d'arròs	2.884,5	9.045,0	106.955,1	5.176,8	17.255,7
Esclòfia d'arròs	480,6	1.507,5	17.826,3	863,1	2.875,5
Tija de mandioca	4.222,8	25.670,7	5.675,4	17.865,9	18.161,1
Palla de nyam	8.041,5	36.639,9	93.388,5	200.454,3	37.932,3
Palla de mill	-	-	709,2	5.436,0	6.050,7
Palla de sorgo	-	-	-	-	1.886,4
TOTAL	405.473,3	527.202,9	429.870,6	389.626,2	190.210,5

Font: KITE, UPC, TEC-KNUST. Feasibility Report, August, 2013

A la Figura 3.9, es mostren els pesos relatius de cada residu disponible dins el total de cada comunitat d'acord a les dades exposades a la taula anterior.

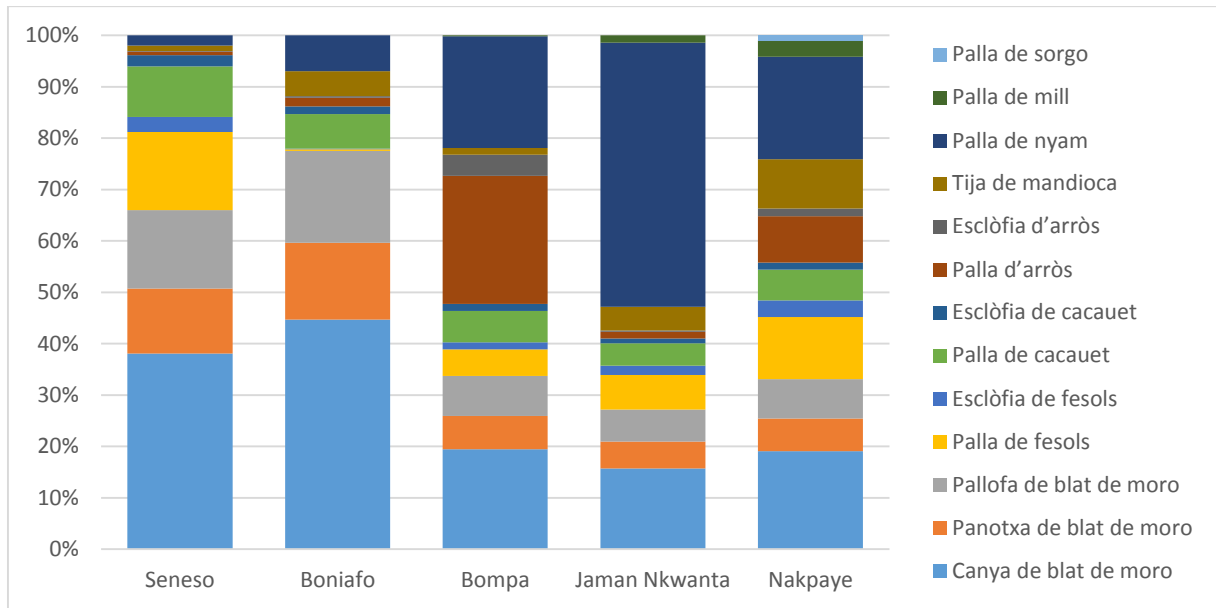


Figura 3.9. Pes relatiu de cada residu disponible per comunitat

Font: Elaboració pròpia

Un cop quantificada la biomassa disponible, es pot fer una primera estimació de l'energia elèctrica potencialment generable a partir d'ella. Per a aquest càlcul, han estat utilitzats valors estàndards que s'obtenen amb un gasificador *downdraft*: 1,2kg de biomassa per kWh_e es consideraria un valor força bo, 1,5kg de biomassa per kWh_e es consideraria un valor acceptable i, finalment, 2kg de biomassa per kWh_e es consideraria un valor poc eficient, malgrat algun determinat tipus de biomassa pot donar valors més propers a aquest últim d'acord al seu PCI o quan un gasificador funciona en factors de càrrega baixos. El càlcul de la producció elèctrica prenent com a referència un consum de 2 kg de biomassa per kWh_e tenim, a priori, un valor de referència per veure si la demanda pot ser coberta amb els residus agrícoles de les pròpies comunitats.

Taula 3.7. Producció elèctrica estimada mitjana per dia de les 5 comunitats a partir d'un consum de 2kg/kWh_e

Tipus de residu ↓	Producció elèctrica estimada diària (kWh _e /dia)				
	SENESO	BONIAFO	BOMPA	JAMAN NKWANTA	NAKPAYE
Canya de blat de moro	211	323	115	84	50
Panotxa de blat de moro	70	108	38	28	17
Pellofa de blat de moro	85	129	46	33	20
Palla de fesols	85	3	30	36	32
Esclòfia de fesols	16	1	8	10	8
Palla de cacauet	55	49	36	23	16
Esclòfia de cacauet	12	11	8	5	3
Palla d'arròs	4	12	147	7	24
Esclòfia d'arròs	1	2	24	1	4
Tija de mandioca	6	35	8	24	25
Palla de nyam	11	50	128	275	52
Palla de mill	-	-	1	7	8
Palla de sorgo	-	-	-	-	3
TOTAL	555,4	722,2	588,9	533,7	260,6

Font: Elaboració pròpia

Si es compara el valor total de la producció elèctrica potencial (taula anterior) amb la demanda mitjana diària de cada comunitat, es pot constatar que, en primera instància, a totes 5 comunitats la biomassa que produeixen és una font energètica suficient per cobrir la seva demanda i amb un marge per a què aquesta pugui augmentar sense la necessitat d'una segona font.

Els gasificadors tipus *downdraft*, però, són molt sensibles al tipus de biomassa utilitzada i no poden treballar amb qualsevol tipus de biomassa. A més a més, és una tecnologia recentment recuperada i adaptada a aquest tipus de recurs agrícola i encara en desenvolupament. Malgrat aquesta energia potencial que tenen les comunitats amb els residus derivats de la seva activitat agrícola seria suficient, seria necessari un estudi del seu funcionament amb cadascun dels residus disponibles. D'aquest conjunt disponible, **el cor de la panotxa del blat de moro i les esclòfies del cacauet** són els únics dels quals es té referència que confirma el seva utilitat com a alimentació per gasificadors *downdraft* i que, per tant, ens permeten assegurar un funcionament fiable dels gasificadors i, en conseqüència, un servei elèctric fiable.

Finalment, si es tornen a comparar els valors de les demandes de les comunitats (veure la Taula 3.4 i la Taula 3.5) amb la producció elèctrica potencial, però aquest cop només obtinguda de les panotxes del blat de moro i les clofolles de cacauet (veure les caselles marcades en vermell de la Taula 3.7), es pot constatar que a *priori* la biomassa útil disponible no serà suficient per a cobrir-la i probablement sigui necessària una aportació per part d'una font complementària.

3.2.3. ALTRES FONTS D'ENERGIA RENOVABLE

A part de l'energia solar i de la biomassa, cal considerar la possibilitat d'obtenir energia de la resta fonts d'energia renovable. La disponibilitat a Ghana d'un recurs **eòlic** considerat de moderadament bo en amunt es troba molt delimitat a zones molt concretes del seu territori, tal i com es pot observar al mapa del recurs eòlic disponible a Ghana elaborat pel NREL (Figura D.2, veure l'Annex D): destacant les zones de la costa i, especialment, de la regió del Volta propera a la frontera amb Togo. Utilitzant com a referent aquest mapa, el recurs eòlic a les 5 comunitats es pot considerar marginal i, per tant, rebutjable com a potencial font energètica, tenint en compte que caldria prendre dades *in situ*.

Un altre possible recurs és l'energia **hidràulica** que presenta diversos inconvenients: una orografia força plana del territori, sense grans desnivells que permetin aprofitar l'energia potencial de l'aigua; i, sobretot, no disponible en la proximitat de la majoria de les comunitats. En el nostre cas, Seneso és l'única comunitat que se situa prop d'un riu (que porta el mateix nom) i, en conseqüència, no és replicable a la resta de comunitats. En aquest projecte, es descarta l'energia hidràulica com a font, doncs no és una font disponible per la majoria de comunitats ghaneses.

Finalment, quedarien per analitzar dues possibles fonts d'energia renovable: la **geotèrmica** i els **biocombustibles**. Aquestes dues fonts d'energia no constitueixen un vector energètic de trivial aplicació, com són la solar, l'eòlica i la hidràulica -de les quals hi ha molta bibliografia i múltiples tecnologies aplicables per a cada context-; sinó que l'ús d'aquestes dues renovables comportaria un anàlisi molt més exhaustiu, perdent així el focus del projecte marc: la biomassa obtinguda dels residus de l'agricultura com a font d'energia per a l'electrificació de les comunitats rurals a l'Àfrica.

Després d'aquest anàlisi dels recursos energètics disponibles, s'optà per escollir dues fonts per a la producció energètica: com a principal per l'estudi, la biomassa i, com a complementària per cobrir la totalitat de la demanda, l'energia solar.

3.3. DESCRIPCIÓ PRELIMINAR DEL SISTEMA

La *micro-grid* o micro-xarxa híbrida de cada comunitat haurà de produir i distribuir l'electricitat a totes les llars de la comunitat les 24 hores del dia sense interrupcions, oferint així un servei de qualitat. D'acord a la dispersió de les comunitats, menys d'1km de distància entre les construccions més distants, s'escull

un sistema de distribució de corrent altern a baix voltatge i amb un únic punt de generació, que s'ubicarà dins o fora de la mateixa comunitat, a com a màxim 1km del punt de consum més distant a aquest.

El disseny del sistema de generació elèctrica d'aquesta micro-xarxa es troba representat en l'esquema que hi ha a continuació:

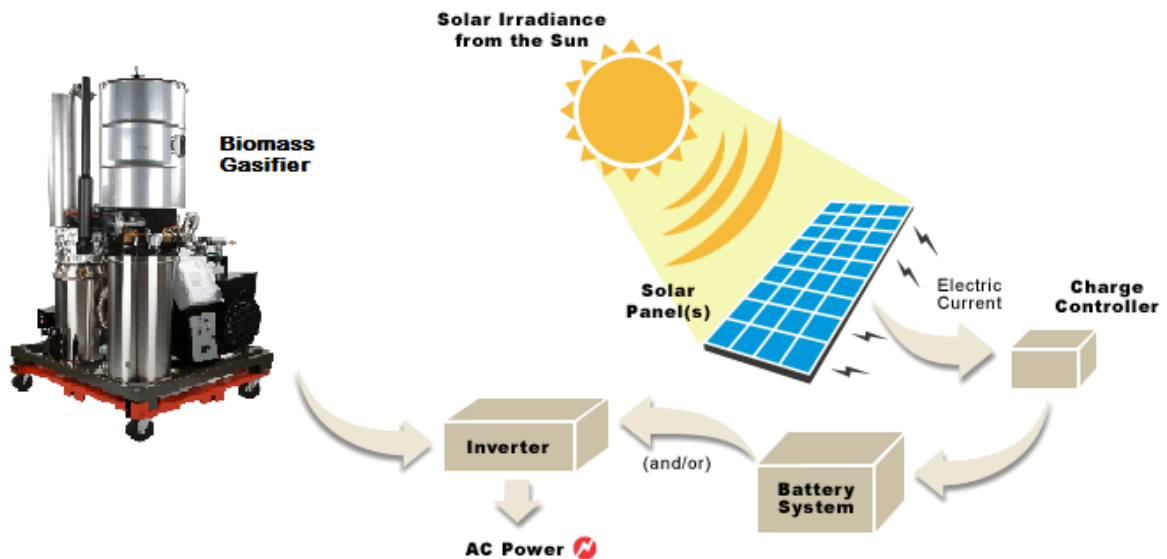


Figura 3.10. Esquema general del sistema de generació elèctrica

Font: <http://solarpvillinois.com/Solar-PV-System/Solar-PV-Energy.html> modificat per l'autor.

Els equips de referència escollits (per recomanació de l'equip de l'UPC involucrat en el projecte) per cada component del subsistema de generació són els que s'especifiquen a continuació:

Taula 3.8. Equips de referència per al disseny dels equips de generació elèctrica de les comunitats.

Component	Model	Fabricant
Gasificador	GEK 10kW PowerPallet	All Power Labs
	(or) GEK 20kW PowerPallet	All Power Labs
Matriu PV	REC240PE	REC
Regulador de càrrega	Variotrack VT80 MPPT	Studer
Banc de bateries	48V OPzV solar power 2900	Hoppecke
Ondulador (bidireccional)	XTH 6000-48	Studer

Font: Elaboració pròpia

A més a més d'equips equips, es proposa que cada punt de consum hi hagi un dispensador o comptador intel·ligent d'electricitat que permetrà a l'usuari fer un seguiment del seu consum. D'acord al consum energètic que l'usuari té acordat amb l'operador de la micro-xarxa, el dispensador limita el corrent. L'usuari sempre tindrà l'opció de moderar el seu consum o bé contractar un límit superior, pagant el corresponent increment del cost del servei. Els equips de referència escollits per al servei de distribució elèctrica són els següents:

Taula 3.9. Equips de referència per al disseny de la distribució elèctrica de les comunitats.

Component	Model	Fabricant
Dispensador d'electricitat	Dispenser B II	Circuitor

Font: Elaboració pròpia

3.4. DISSENY PRELIMINAR (HOMER)

3.4.1. INTRODUCCIÓ A HOMER

L'Hybrid Optimization Model for Electric Renewables (HOMER) software és un model computacional desenvolupat pel NREL que assisteix al disseny de sistemes de microgeneració dins d'un ampli ventall de models de generació donant resultats optimitzats i una comparació entre models (Lambert, Gilman, & Lilienthal, 2006). Amb aquest programa, es poden simular diferents configuracions del sistema o diferents combinacions de components, tot generant un llistat de possibles solucions (ordenades per costos) d'acord a les opcions diferents tecnològiques de generació energètica escollides, els costos dels diferents components del sistema (en el nostre cas, els costos de cadascun dels de la Taula 3.8) i la disponibilitat de recursos energètics (NREL, 2003).

3.4.2. HIPÒTESIS I VALORS DE REFERÈNCIA

Abans, però, de començar a treballar amb HOMER és necessari establir quines hipòtesis es prenen per poder treballar amb ell i simplificar així la tasca de disseny:

- *Simulation time step*: s'ha establert un *step* de 60 minuts, utilitzant el mateix temps de pas que l'utilitzat per construir els perfils de càrrega de les comunitats.
- *Lifetime*: establert en 10 anys, el mateix horitzó que l'establert en l'Escenari 2 explicat a l'Apartat 3.1.
- El tipus d'interès real anual del 7,7%, calculat utilitzant l'equació de Fischer² a partir de la taxa d'interès nominal i la taxa d'inflació: 24,21% i 16,5% (Bank of Ghana, 2014).
- El cost d'O&M de les bateries i dels onduldors és 0, doncs les seves característiques de disseny fan que no requereixin de manteniment.
- *Maximum anual capacity shortage* del 0%, doncs es vol trobar una solució tècnica que satisfaci el 100% de la demanda d'acord amb els estàndards amb els que es treballa.
- S'estableix una reserva operativa del 10%, tal i com es recomana a (Adaramola, Agelin-Chaab, & Paul, 2014).
- *Apply setpoint state of charge (%)*: 80%. En aquest punt, s'estableix que el gasificador treballi al màxim de la seva potència amb l'objectiu de carregar les bateries.
- Es limita el número de gasificador a un de sol. Per tant, el límit de potència generada amb biomassa vindrà determinat per les característiques del gasificador (s'entén tot el subsistema acoblat a aquest, com el motor de combustió, el generador, etcètera) de referència, independentment que la capacitat de producció amb biomassa pugui ser superior.
- Restriccions de funcionament del gasificador:
 - El fabricant del gasificador-generador de referència està concebut per funcionar fins a 12 hores al dia, alimentant-lo cada 4 a 8 hores en funció de la biomassa utilitzada (All Power Labs, 2014). S'estableix, llavors, que el nombre màxim d'hores al dia és de 12 hores.
 - Actualment, el fabricant recomana un llistat limitat de matèries primeres compatibles amb el seu equip (All Power Labs, 2014). D'acord a aquest llistat, la biomassa disponible a les comunitats apte és la panotxa del blat de moro i les clofolles de cacauet (marcades en vermell a la Taula 3.6).
- El recurs de biomassa es distribueix per igual per cadascun dels mesos, independentment del temps de collita i assumint que la biomassa es pot emmagatzemar sense problemes; suposant alhora que hi haurà suficient espai per a tal fi i només una petita part de la biomassa es malmetrà durant el temps que hi estigui.
- La demanda és invariable durant la setmana. S'entén que al ser comunitats eminentment rurals no hi ha diferència en els patrons de consum energètic al llarg de la setmana, com pot passar en els

² $<i>i = r + \pi</i>>$ on "*i*" és la taxa d'interès nominal, "*r*" la taxa d'interès real i "*π*" la taxa d'inflació. [http://en.wikipedia.org/wiki/Fisher_equation, 5 de novembre de 2014]

nuclis de població més gran on hi ha una clara diferència de costums de la població entre els caps de setmana i els dies de cada dia.

- Es considera que la demanda és pràcticament constant, a causa de dos factors: la ubicació de les comunitats en zona intertropical fa que els canvis en les necessitats d'il·luminació no variïn excessivament i que els nivells de consum residencial (la major part del pastís de la demanda de les comunitats objectiu) a la Ghana rural dona per uns equips elèctrics bàsics de demanda regular tot l'any, d'acord al que s'ha exposat anteriorment al subapartat 1.4.1.
- Encara que el símbol monetari utilitzat per HOMER sigui \$, tots els valors estan expressats en euros.

3.4.3. CONSTRUCCIÓ DE L'ESQUEMA DEL SISTEMA

El primer pas és construir virtualment en el HOMER la micro-xarxa, definint els equips que s'utilitzaran. Conceptualment, és equivalent a representar l'esquema de la Figura 3.10 dins del programa. Per cada comunitat, caldrà crear un model nou de simulació on s'inseriran les dades corresponents a cada cas.

El resultat és com el que es mostra a la Figura 3.11, en aquest cas el de Seneso. Com que el model de generació és el mateix en totes 5 comunitats, la seva representació esquemàtica a HOMER és idèntica: un panell solar, un banc de bateries, un ondulador, un gasificador, una demanda i dues línies elèctriques (una en alterna i una altra en continua).

Si s'observa la mateixa figura, es pot observar com automàticament el HOMER afegeix l'opció de definir els recursos energètics disponibles (requadre vermell) en funció dels equips de generació elèctrica afegits a l'esquema.

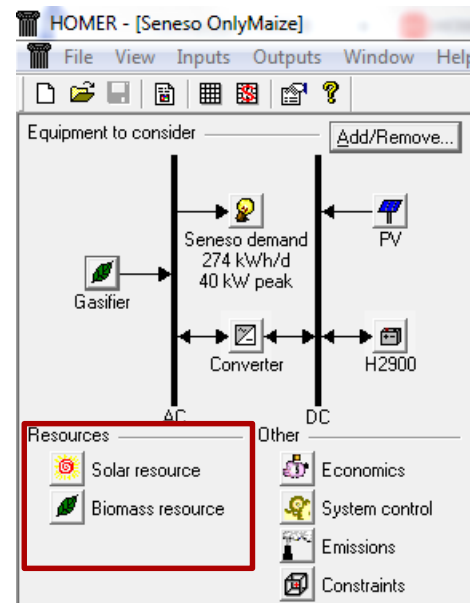


Figura 3.11. Captura de pantalla de la modelització de la micro-xarxa (en l'exemple, de Seneso) al HOMER.

Font: Elaboració pròpia amb HOMER

3.4.4. ESCENARIS DE DEMANDA ENERGÈTICA

Un cop construït el model, ja es pot introduir la demanda prevista per cadascuna de les comunitats d'acord als seus perfils de càrrega, anteriorment exposats a l'apartat 3.1 (de la Figura 3.1 a la Figura 3.5). A part de la demanda mitja esperada, HOMER permet afegir variabilitat aleatòria en la seva simulació a través de dos paràmetres:

- Day-to-day (%)*: La desviació estàndard de la mitjana de la demanda diària.
- Time-step-to-time-step (%)*: La desviació estàndard de la diferència entre la demanda a cada hora i la mitjana de la demanda diària.

Amb les dades disponibles dels comptadors de Nyomoase (la comunitat de referència), s'ha detectat que la diferència entre el valor real mesurat (suma de lectures dels comptadors) i la tendència (la recta correlacionada) del seu consum dels diferents mesos és <1%. Amb aquesta dada en mà i comparant altres simulacions d'altri, s'ha decidit utilitzar un valor del 5% per la variabilitat diària i un 10% per l'horària.

En el moment d'introduir aquestes dues variables, cal anar molt en compte, doncs afecta considerablement en el resultat de la potència pic que es pot obtenir i, per tant, en el dimensionament de la planta de generació. A la Figura 3.12, es mostra la interfície d'introducció d'aquestes dades pel cas de Bompa.

3.4.5. DISPONIBILITAT DE RECURSOS ENERGÈTICS

RECURS SOLAR

Tot seguit, s'introdueixen les dades presentades al subapartat 3.2.1 del recurs solar disponible. Tanmateix, si es disposa de connexió a Internet a l'ordinador on es fa córrer HOMER, només cal introduir-hi les

coordenades de la comunitat i el software mateix descarrega les dades del núvol. A la Figura 3.13, es mostra la interfície d'introducció d'aquestes dades pel cas de Seneso.

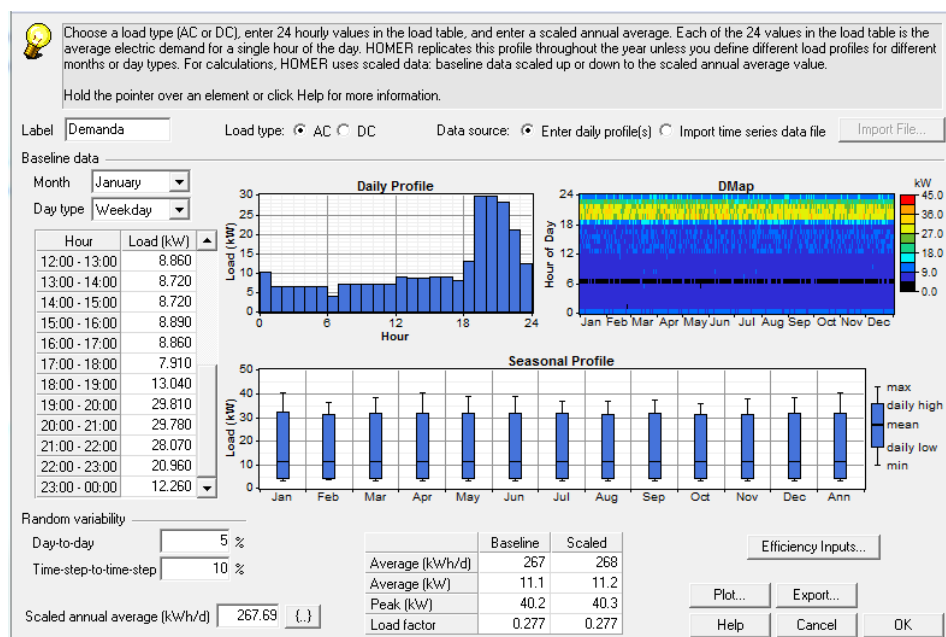


Figura 3.12. Captura de la finestra d'introducció del perfil de la demanda a HOMER, en aquest cas de Bompá.

Font: Elaboració pròpia amb HOMER

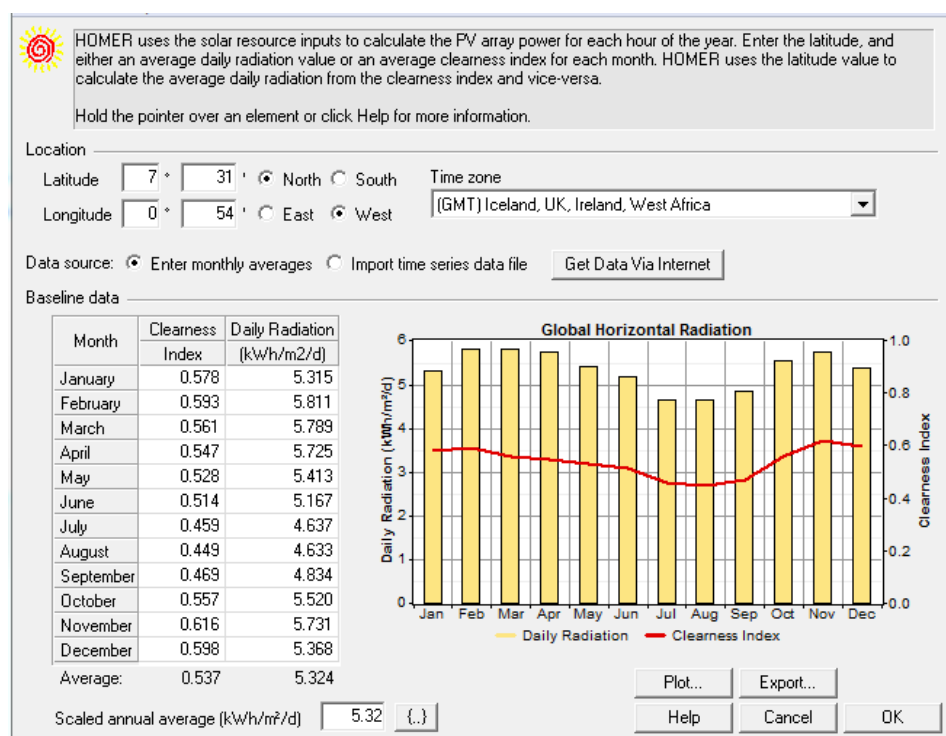


Figura 3.13. Captura de la finestra d'introducció del recurs solar a HOMER, en aquest cas de Seneso.

Font: Elaboració pròpia amb HOMER

BIOMASSA DISPONIBLE

Com ja s'ha esmentat en les hipòtesis, en el moment de dir-li a HOMER quin és la biomassa disponible, s'ha considerat que hi ha la mateixa disponibilitat durant tots els mesos de l'any. Quan s'obtinguin els resultats de la simulació, caldrà veure si aquesta hipòtesi està ben fonamentada o no.

A part de la disponibilitat en si de biomassa, HOMER demana a la mateixa finestra les propietats de gasificació d'aquesta: el rati de gasificació (kg de gas pobre/kg de biomassa) i el PCI del gas. Els valors utilitzats per aquests paràmetres són, respectivament, 1,8 kg de gas/kg de biomassa i 4,8MJ/kg de biomassa (Depoorter, Olivella Rosell, Sudrià Andreu, Giral Guardia, & Sumper, 2014).

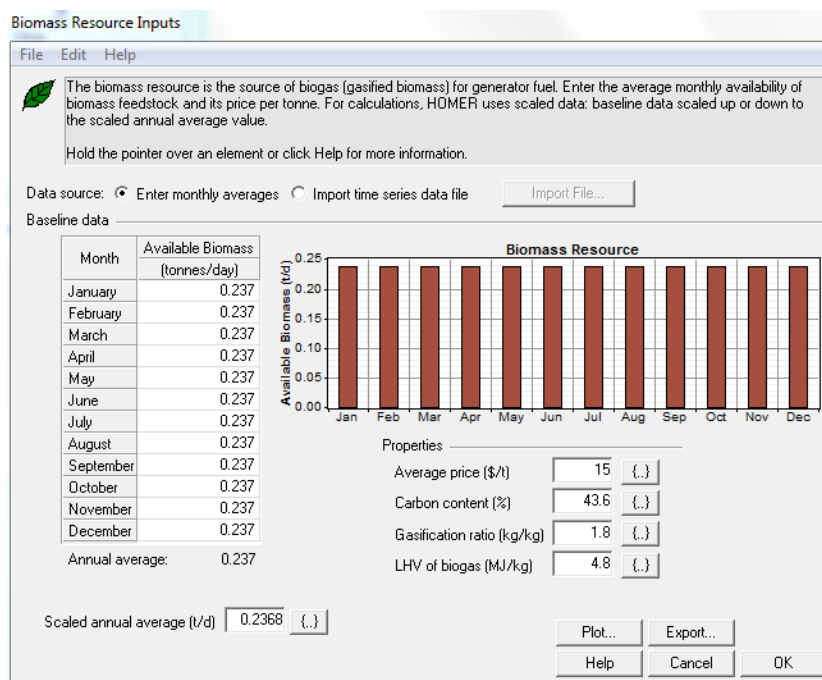


Figura 3.14. Captura de la finestra d'introducció de la biomassa disponible a HOMER, en aquest cas de Boniafo

Font: Elaboració pròpia amb HOMER

El contingut de carboni és el del blat de moro: 43,6% (Latshaw & Miller, 1924) i s'estableix el preu mig a 7,33GHP/kg (Ramamurthi, 2013), aproximadament 1,5€~~7~~kg que és igual a 15€~~7~~tona, malgrat la biomassa s'obindrà de la mateixa comunitat s'ha de valorar el cost de transportar la biomassa des dels camps al punt de generació.

3.4.6. EQUIPS DE LA INSTAL·LACIÓ

Abans de definir els diferents equips dins de HOMER, cal tenir en consideració que aquests equips són els mateixos per a totes les comunitats i, per tant, en tots 5 casos la definició serà la mateixa.

EL GRUP GASIFICADOR-GENERADOR ELÈCTRIC

Com a gasificadors de referència, s'han escollit els dos models de Power Pallet del fabricant estatunidenc All Power Labs³: 10kW i 20kW GEK Power Pallets (Figura 3.15). El preu orientatiu d'aquests dos equips és d'aproximadament 15.000€ i 30.000€, respectivament, amb el seu servei més bàsic: el transport dels equips i la posada a punt.

A l'hora de considerar els costos dels equips i dels paràmetres relacionats que demana el HOMER, cal tenir en compte que, en aquest tipus d'equips, l'element més castigat és normalment el motor i és aquest el que marca el temps de



Figura 3.15. 10kW (Esquerra) i 20kW (dreta) GEK Power Pallet

Font: <http://www.allpowerlabs.com>

³ <http://www.allpowerlabs.com/>

vida de l'aparell: el nombre d'hores de funcionament de l'equip abans de necessitar un recanvi significatiu, sempre i quan es realitzi un adequat manteniment. Segons el fabricant, el temps de vida del motor està entre les 10.000 i les 17.000 hores. S'estableix un temps de vida de 12.500h.

També, s'estableix un rati mínim de potència de funcionament del 25%, d'acord a les característiques facilitades a la web del fabricant¹ i considerem que el cost de reemplaçar el motor és la meitat del cost total de l'equip.

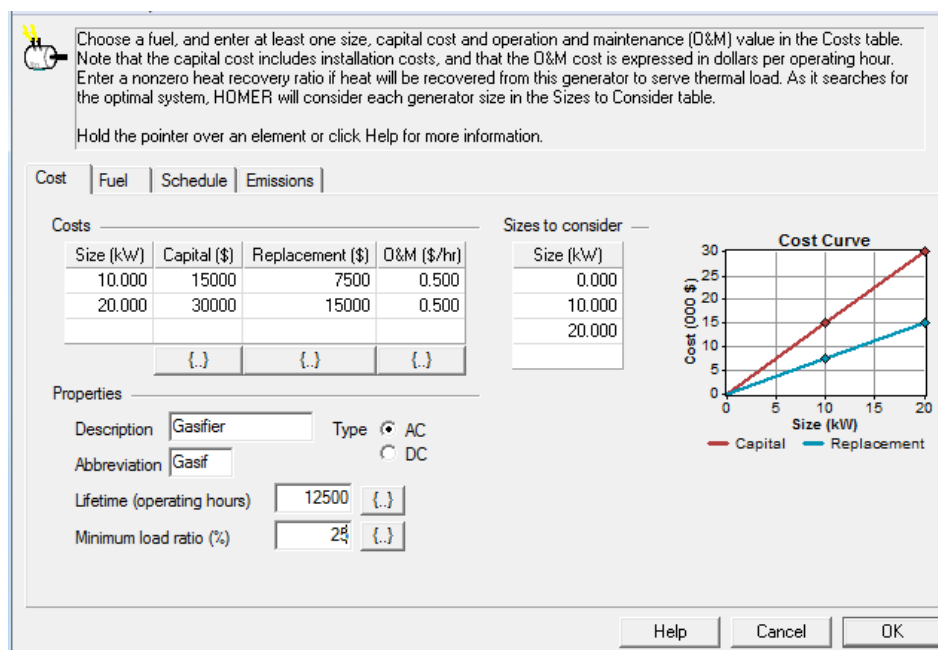


Figura 3.16. Captura de pantalla de la definició de costos del gasificador

Font: Elaboració pròpia

Per acabar de definir l'equip, el HOMER requereix definir-li una corba de consum del combustible. El fabricant no especifica quina és aquesta corba i, per poder definir-la, s'utilitzen valors genèrics de la gasificació (Universitat Politècnica de Catalunya, 2013), tenint en compte que el PCI dels residus de blat de moro i de cacauet (veure la Taula E.1) és superior al PCI de les estelles de fusta (Valter Francescato & Zuccoli Bergomi, 2008):

Taula 3.10. Consum específic típic d'un gasificador en funció del seu factor de càrrega.

Consum en funció del factor de càrrega			
Factor de càrrega (%)	Consum específic (kg/kWh)	Càrrega (kW)	Consum (kg/h)
100%	1,2	20	24
60%	1,5	12	18
30%	2,0	6	12

Font: Elaboració pròpia a partir de valors d'(Universitat Politècnica de Catalunya, 2013).

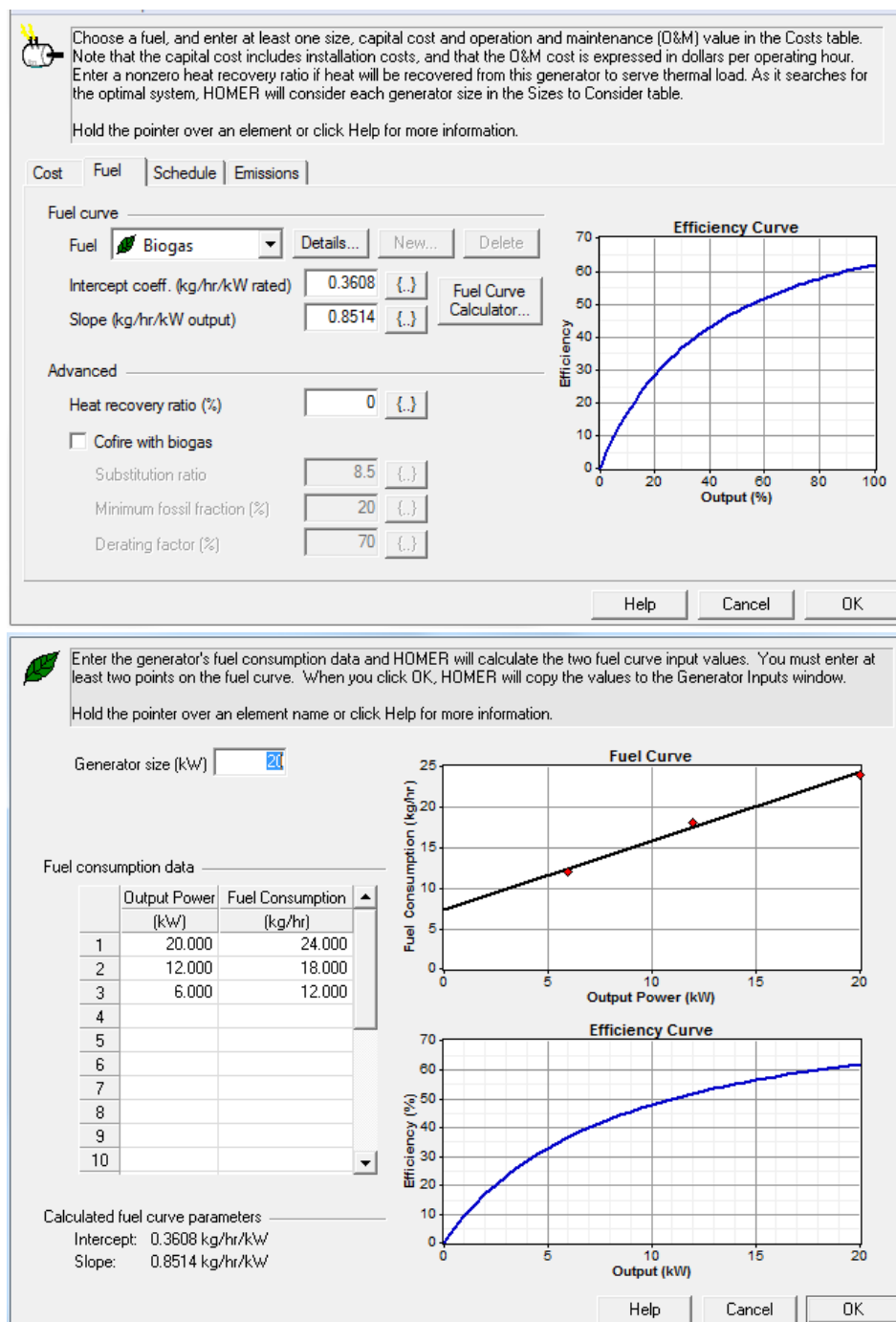


Figura 3.17. Captura de pantalla de la definició de la corba de consum del gasificador (comú a totes les comunitats)

Font: Elaboració pròpia

Opcionalment, HOMER permet la definició d'un horari de marxa i de parada del gasificador i de paràmetres pel càlcul d'emissions de gasos i contaminants. En el cas d'estudi, s'ha definit un horari de treball obligatori i d'aturada obligatòria del gasificador (Figura 3.18):

- De 12 de la nit a 6 del matí, parada obligatòria.
- De 5 a 6 de la tarda, parada obligatòria, excepte el cas de Jaman Nkwanta.
- En les 3 comunitats de la regió de Brong Ahafo, es força l'engegada entre les 6 de la tarda i les 12 de la nit.
- La resta del temps vindrà optimitzat pel HOMER.

Aquest horari s'ha definit d'acord a tots els següents factors/paràmetres de disseny:

- La sortida del sol és durant tot l'any aproximadament a 2/4 de 6 del matí i la posta entre 3/4 de 6 i 3/4 de 7 de la tarda⁴.
- L'horari laboral estàndard a Ghana és de 8 del matí a 12 del migdia i d'1 a 5 de la tarda, malgrat l'activitat al carrer sol començar tan bon punt surt el sol.
- El gasificador requereix una posada a punt tots els dies: comprovació dels sensors, càrrega inicial de la tremuja d'alimentació (aquest es pot deixar preparat la nit anterior quan s'apaga), etcètera.
- El gasificador requereix una neteja dels filtres, de les vàlvules, etcètera, i un manteniment general per al seu correcte funcionament cada dia, un cop s'han refredat tots els seus elements.
- El gasificador tarda aproximadament 15 minuts en arribar al punt d'operació (arribar als 800°C dins del reactor) i entre 5 i 10 minuts en dur-se a terme el protocol d'aturada segura (All Power Labs, 2012).
- El gasificador genera uns nivells de soroll força elevats que poden alterar el descans de la comunitat, tenint en compte que els punts de generació es trobaran a prop de les llars; i, en conseqüència, es proposa apagar el gasificador durant la matinada.
- Durant les hores de màxima demanda (entre les 6 de la tarda i les 12 de la matinada), es forçarà l'encesa de la màquina en les 3 comunitats del Brong Ahafo doncs s'obtenen millors resultats.
- De 5 a 6 de la tarda, parada obligatòria per tal de garantir les 12 hores màximes de funcionament del gasificador, excepte el cas de Jaman Nkwanta que compleix aquesta especificació sense la necessitat de forçar-ho.

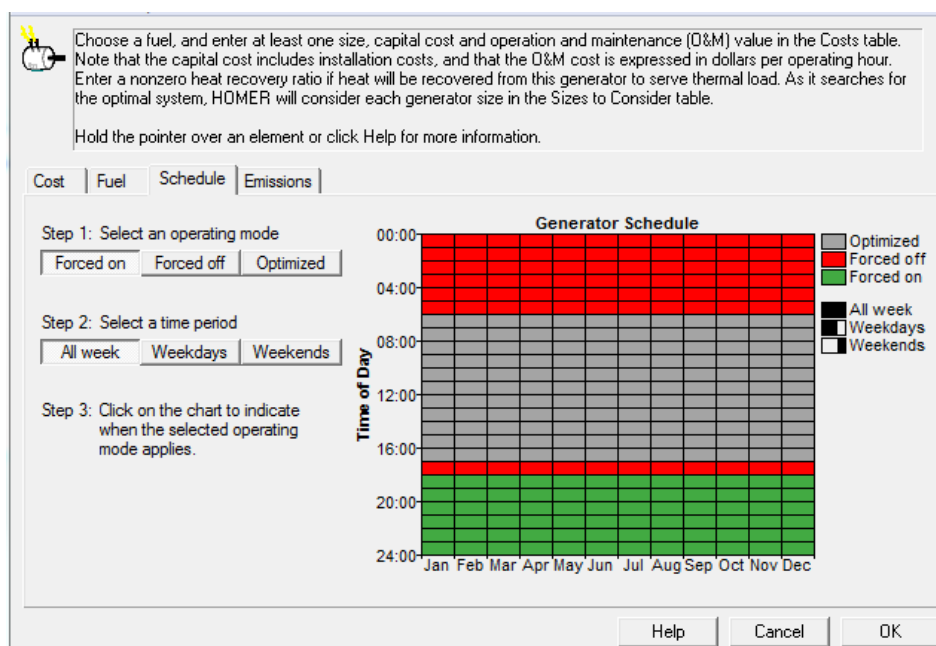


Figura 3.18. Captura de pantalla de l'horari de treball definit per al gasificador a Jaman Nkwanta

Font: Elaboració pròpia

L'horari de funcionament del gasificador és un aspecte crític que afecta considerablement els resultats obtinguts. De fet, s'han hagut de realitzar múltiples simulacions amb diferents horaris, tenint en compte tots els requisits exposats anteriorment, per finalment obtenir el millor resultat.

⁴ <http://www.timeanddate.com/astronomy/ghana/kumasi>

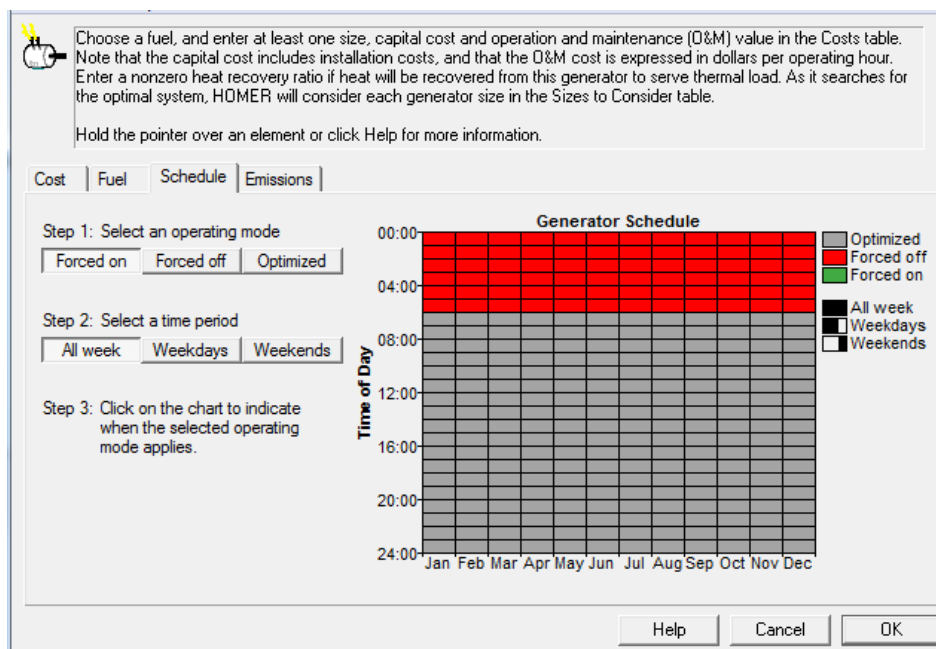


Figura 3.19. Captura de pantalla de l'horari de treball definit per al gasificador a Jaman Nkwanta
Font: Elaboració pròpia

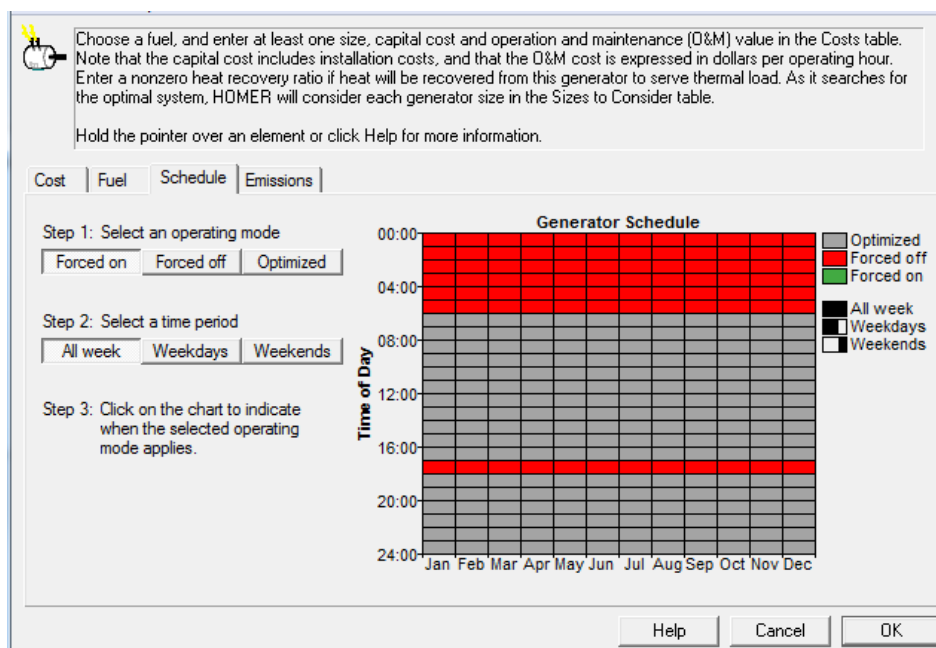


Figura 3.20. Captura de pantalla de l'horari de treball definit per al gasificador a Jaman Nkwanta
Font: Elaboració pròpia

EL CAMP FOTOVOLTAIC

La tecnologia de generació elèctrica mitjançant energia fotovoltaica és caracteritzada generalment per requerir una forta inversió inicial de capital, respecte d'altres tecnologies més convencionals, però uns costos de manteniment i operació i una alta fidelitat, i més quan es tracta de xarxes aïllades. A més a més, són fàcilment escalables a les necessitats de la micro-xarxa, al contrari que el gasificador que són equips amb potències molt definides, i una vida útil de com a mínim 20 anys.

Les potències dels panells fotovoltaics que s'han considerat són múltiples de 5kW: 0, 5, 10, 15, ..., 100kW. Tot i així, després de realitzar el càlcul del sistema i no trobar solució, el HOMER podria recomanar ampliar el llistat de potències possibles per damunt dels 100kW.

S'ha definit un factor de pèrdues del 80% (el pitjor cas dins dels valors de fabricació acceptables 80%-105%) i un albedo⁵ general del 20%. El grau d'inclinació òptim d'instal·lació dels panells per cada comunitat s'ha obtingut de la mateixa font que la utilitzada per obtenir les dades de la insolació solar a les mateixes: (NASA, 2014). Aquest valors són 16,9° per Seneso, 17° per Boniafo, 16'5° per Bompa, 17,3° per Jaman Nkwanta i 17,4° per Nakpaye, en referència a l'horitzontal.

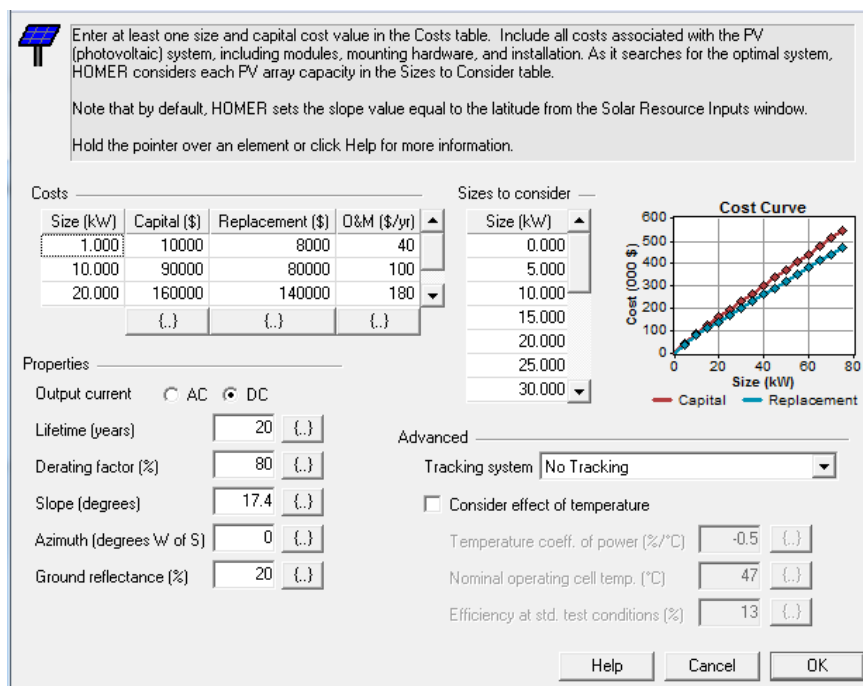


Figura 3.21. Captura de pantalla de la definició del panell fotovoltaic, en aquest per Nakpaye

Font: Elaboració pròpia

ELS BANCS DE BATERIES

El banc de bateries té la funció d'emmagatzemar l'excés d'energia produïda, ja sigui pel gasificador com pels panells fotovoltaics, per servir-la en funció de la demanda. Aquest element és el que assegura el servei 24 hores sense interrupcions, doncs tant el gasificador com els panells solars no generaran electricitat per les nits, hi pot haver moments on la demanda sigui superior a la capacitat de producció i sigui necessari una aportació extra a la micro-xarxa o un dels dos sistemes de generació pot avariar-se i haver-se d'aturar per a la seva reparació.

El voltatge del bus de corrent continu ve determinat per l'ondulador i el regulador de càrrega escollits que treballen a 48V, en aquest cas. Tenint en compte que cadascuna de les bateries escollides tenen un voltatge de 2V, cada banc estarà composta per 24 bateries.

L'ONDULADOR-CARREGADOR DE BATERIES

L'últim element del sistema de generació, requerit per a la simulació, és l'ondulador. Aquest és l'encarregat de transformar el corrent elèctric de continu a altern o a l'inrevés, entre el subsistema de corrent continu: conformat pels panells fotovoltaics, les bateries i el regulador de càrrega; i el subsistema de corrent altern: el gasificador i la xarxa de distribució.

Els paràmetres de disseny utilitzats són els que assigna per defecte el HOMER.

⁵ Quocient entre la radiació solar que és reflectida per una superfície i la radiació solar que hi incideix.

Choose a battery type and enter at least one quantity and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the battery bank, such as mounting hardware, installation, and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each quantity in the Sizes to Consider table.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Battery type: 20 OPzV solar.power 2900 [Details...] [New...] [Delete]

Battery properties

Manufacturer: HOPPECKE
Website: www.hoppecke.com

Nominal voltage: 2 V
Nominal capacity: 2,540 Ah (5.08 kWh)
Lifetime throughput: 6,547 kWh

Costs

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
1	1400	1400	0.00

[...] [...] [...]

Advanced

Batteries per string: 24 (48 V bus)
☒ Minimum battery life (yr): 8 [...]

Sizes to consider

Strings
0
1
2
3
4

Cost Curve

Help Cancel OK

Figura 3.22. Captura de pantalla de la definició dels bancs de bateries (comú a totes les comunitats)

Font: Elaboració pròpia

File Edit Help

☒ A converter is required for systems in which DC components serve an AC load or vice-versa. A converter can be an inverter (DC to AC), rectifier (AC to DC), or both.

Enter at least one size and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the converter, such as hardware and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each converter capacity in the Sizes to Consider table. Note that all references to converter size or capacity refer to inverter capacity.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Costs

Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
36.000	51000	0	0

[...] [...] [...]

Sizes to consider

Size (kW)
6.000
12.000
18.000
24.000
30.000
36.000

Cost Curve

Help Cancel OK

Figura 3.23. Captura de pantalla de la definició de l'ondulador-carregador de bateries (comú a totes les comunitats)

Font: Elaboració pròpia

3.5. UBICACIÓ DE LA INFRAESTRUCTURA DE GENERACIÓ

Durant la visita de les comunitats al novembre de 2013, es preguntà als caps de la comunitat quins emplaçaments podrien utilitzar-se com a punt de generació, és a dir, on aniran les infraestructures que acolliran els equips de generació i gestió de la micro-xarxa i la gestió i emmagatzematge de la biomassa.

D'aquells punts es prengueren les coordenades GPS i fotografies amb les quals s'elaborà un seguit d'imatges útils per la posterior presa de decisions i el treball de disseny de les corresponents micro-xarxes. Es poden observar aquestes imatges a l'Annex F del present document.

4. SOLUCIÓ TÈCNICA PROPOSADA

En la present secció, s'exposen els resultats de la simulació a HOMER amb els paràmetres introduïts segons la secció anterior i d'acord als resultats obtinguts es proposa posteriorment una solució tècnica al problema plantejat a l'inici d'aquest document.

4.1. RESULTATS DE LA SIMULACIÓ AMB HOMER. VIABILITAT TÈCNICA DEL PROJECTE.

Quan la simulació s'ha completat, HOMER mostra un llistat amb els resultats òptims per a cada possible configuració, d'acord a la complexitat del problema definit. En el cas que s'està plantejant, les possibles configuracions són o bé un sistema de generació basat només en un font energètica (biomassa o solar) o bé un grup gasificador-generador hibridat amb panells fotovoltaics. A continuació es mostren els respectius resultats obtinguts per a Seneso, Boniafo, Bompa, Jaman Nkwanta i Nakpaye, respectivament:


	PV (kW)	Gasif (kW)	H2900	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Biomass (t)	Gasif (hrs)	Batt. Lf. (yr)
	30	20	48	12	\$ 344,200	-3,987	\$ 316,197	0.604	1.00	30	2,358	10.0

Figura 4.1. Resultat optimitzat del HOMER per Seneso

Font: Elaboració pròpia amb HOMER


	PV (kW)	Gasif (kW)	H2900	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Biomass (t)	Gasif (hrs)	Batt. Lf. (yr)
	25	20	48	12	\$ 309,200	-3,093	\$ 287,478	0.613	1.00	28	2,276	10.0

Figura 4.2. Resultat optimitzat del HOMER per Boniafo

Font: Elaboració pròpia amb HOMER


	PV (kW)	Gasif (kW)	H2900	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Biomass (t)	Gasif (hrs)	Batt. Lf. (yr)
	55	20	120	24	\$ 637,000	-9,380	\$ 571,119	0.832	1.00	30	2,251	10.0

Figura 4.3. Resultat optimitzat del HOMER per Bompa

Font: Elaboració pròpia amb HOMER


	PV (kW)	Gasif (kW)	H2900	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Biomass (t)	Gasif (hrs)	Batt. Lf. (yr)
	65	20	144	30	\$ 749,100	-12,261	\$ 662,983	1.027	1.00	24	1,828	10.0

Figura 4.4. Resultat optimitzat del HOMER per Jaman Nkwanta

Font: Elaboració pròpia amb HOMER


	PV (kW)	Gasif (kW)	H2900	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Biomass (t)	Gasif (hrs)	Batt. Lf. (yr)
	35	10	48	12	\$ 364,200	-6,189	\$ 320,734	0.802	1.00	14	2,129	10.0

Figura 4.5. Resultat optimitzat del HOMER per Nakpaye

Font: Elaboració pròpia amb HOMER

Com es pot observar als resultats obtinguts, en totes 5 comunitats l'única solució obtinguda és una **generació híbrida alimentada amb energia solar i amb biomassa** dels cors de les panotxes del blat de moro i les esclòfies de cacauet.

El cost d'operació és el valor anualitzat de tot el que no sigui el cost de capital. Això inclou la substitució, O&M i els costos de combustible, però també inclou el valor d'estalvi (HOMER Energy, 2014). És per aquest motiu que els valors "Operationg Cost" que es mostren en les solucions anteriors són negatius, doncs l'estalvi és superior a les despeses pròpiament de manteniment.

Les configuracions tècniques optimitzades es resumeixen a la taula que es presenta a continuació:

Taula 4.1. Resum de les configuracions optimitzades pel HOMER.

Component	Equip	Seneso	Boniafo	Bompa	Jaman Nkwanta	Nakpaye
Gasificador	GEK 20kW PowerPallet	1 (20kW)	1 (20kW)	1 (20kW)	1 (20kW)	1 (10kW)
Matriu PV	REC240PE	30kW	25kW	55kW	65kW	35kW
Banc de bateries	48V OPzV solar power 2900	2 bancs paral·lel	2 bancs paral·lel	5 bancs paral·lel	6 bancs paral·lel	2 bancs paral·lel
Ondulador-carregador de bateries (bidireccional)	XTH 6000-48 (6kW)	2 (12kW)	2 (12kW)	4 (24kW)	5 (30kW)	2 (12kW)

Font: Elaboració pròpia

4.1.1. PRODUCCIÓ ELÈCTRICA RESULTANT

El resultats relacionats amb la producció elèctrica obtinguts de la simulació per cada comunitat són:

Taula 4.2. Resultats obtinguts sobre la producció d'electricitat en la simulació de HOMER per a cada comunitat.

		Seneso	Boniafo	Bompa	Jaman Nkwanta	Nakpaye
Electricitat produïda ¹ (kWh/any)	Camp fotovoltaic	47.105 (53%)	39.324 (49%)	44.366 (34%)	103.597 (75%)	56.189 (73%)
	Gasificador - Generador	42.459 (47%)	40.344 (51%)	87.072 (66%)	35.419 (24%)	21.086 (27%)
	Total	89.564	79.668	131.438	139.016	77.275
Electricitat consumida ¹ (kWh/any)		74.574	66.768	97.686	91.955	56.910
Electricitat consumida diària (kWh/dia)		204,3	182,9	267,6	251,9	155,9
Rati electricitat consumida/produïda (%)		83,2	83,8	74,3	66,1	73,6
Excés d'electricitat (kWh/any)		4.662	3.312	19.701	32.987	11.982
Excés d'electricitat s/total (%)		5,2	4,2	15,0	23,7	15,5
Demanda no coberta (kWh/any)		17,9	27,1	20,5	54,1	18,6
Demanda no coberta s/total (%)		0,02	0,04	~0,0	0,1	~0,0
Producció necessària no coberta (kWh/any)		20,2	32,5	23,4	76,3	23,5
Producció necessària no coberta s/total (%)		0,03	0,05	~0,0	0,1	~0,0

¹ Electricitat produïda = electricitat consumida + pèrdues + excés d'electricitat.

Font: Elaboració pròpia

De les dades exposades, es destaquen 2 aspectes. Un primer aspecte és que a partir d'aquestes podem conèixer l'eficiència general de la part elèctrica del sistema de generació, doncs és el mateix valor que el rati entre l'electricitat total consumida (energia útil) i l'electricitat total produïda (energia d'entrada).

Un segon aspecte és que, en les hipòtesis prèvies a l'hora de simular amb el HOMER, s'havia establert que el sistema fos capaç de subministrar el 100% de la demanda. Malgrat aquesta restricció, els resultats obtinguts de la simulació indiquen que això no és possible. Tot i així, la demanda total no coberta és igual o inferior al 0,1% del total demandat, que es pot considerar força satisfactori. Analitzant les dades que facilita el HOMER, aquesta demanda que no s'ha pogut cobrir es conseqüència de dos fets:

1. Hi ha un pic de demanda puntual superior a la mitjana i ni la disponibilitat energètica emmagatzemada en les bateries ni la capacitat de generació del gasificador són capaços de subministrar l'energia necessària per cobrir-la.
2. S'encadenen dies on el recurs solar és escàs, normalment per causes climatològiques, i l'energia emmagatzemada s'exhaureix.

Cal tenir en compte que el model de dispensador escollit (veure més endavant) que s'instal·larà a les llars permetrà avisar als usuaris quan la disponibilitat energètica sigui baixa i, per tant, corregir la demanda.

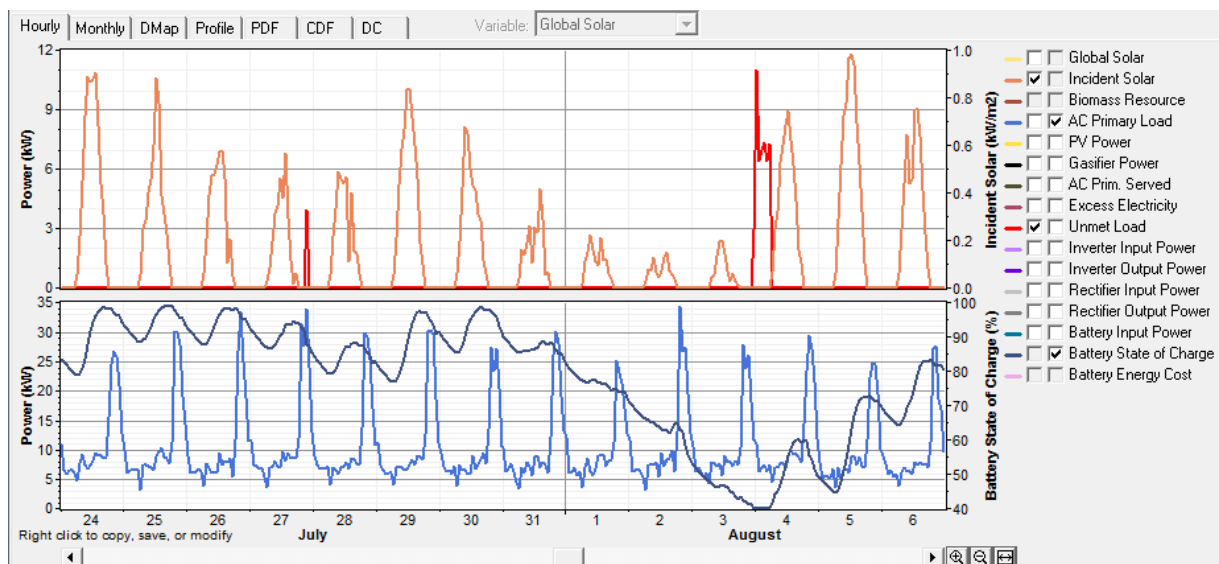


Figura 4.6. Gràfics obtinguts de la simulació de Jaman Nkwanta amb HOMER en els qual es poden detectar les causes de la demanda no coberta (en vermell).

Font: Elaboració pròpia amb HOMER

A continuació es mostren els gràfics de la producció elèctrica mitjana mensual, segregada segons el recurs energètic, per les 5 comunitats:

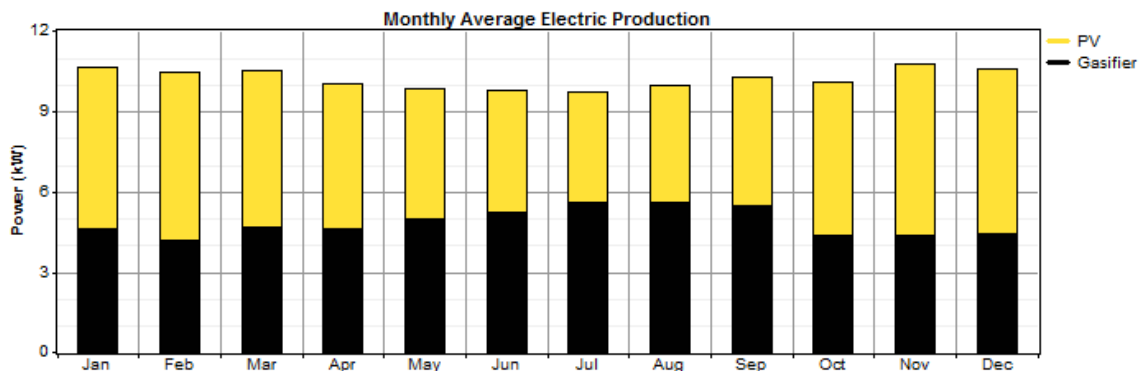


Figura 4.7. Producció elèctrica mitjana mensual, segregada segons els recursos energètics, a Seneso.

Font: Elaboració pròpia amb HOMER

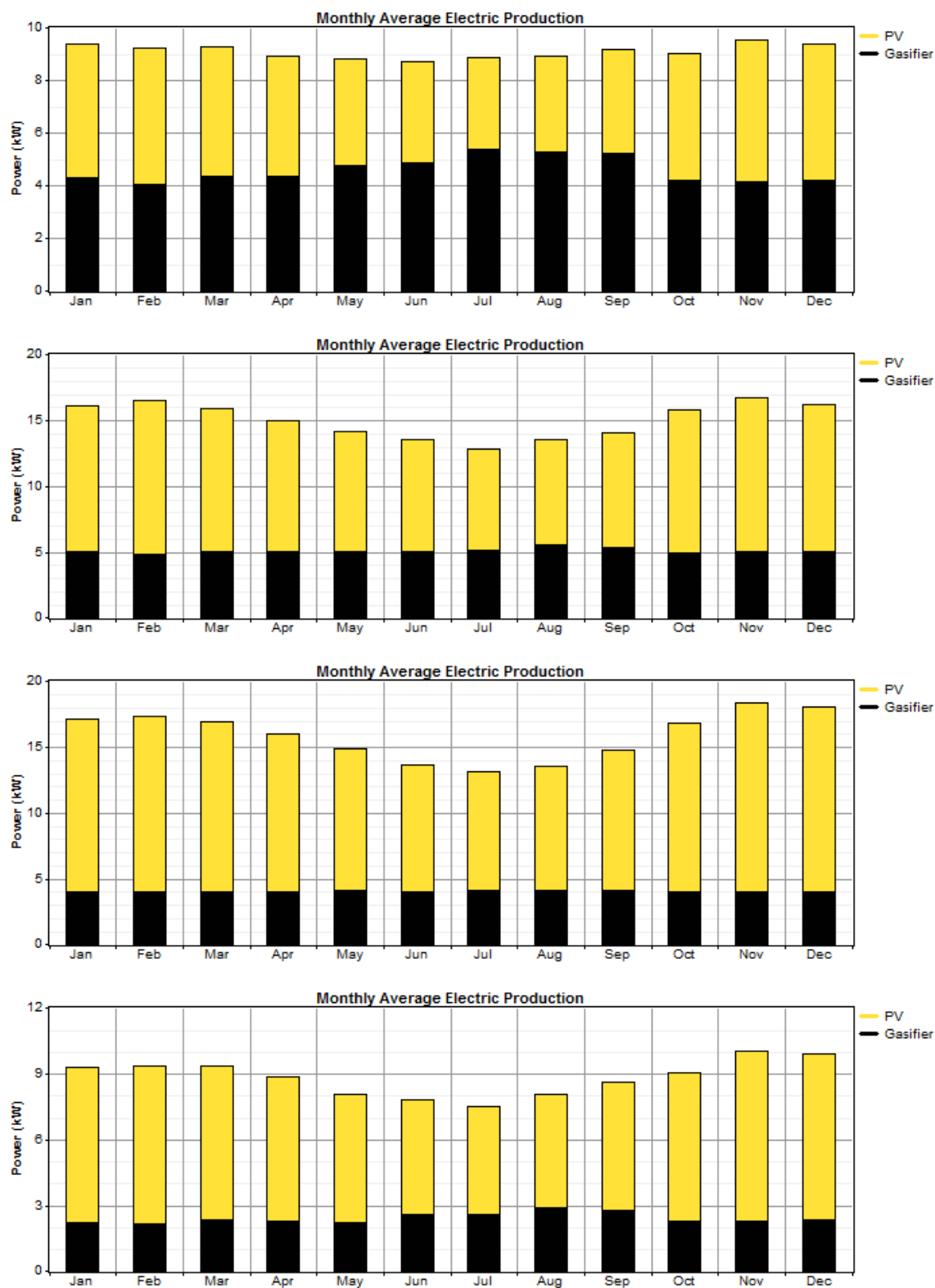


Figura 4.8. Producció elèctrica mitjana mensual, segregada segons els recursos energètic, (en ordre de dalt a baix) a Boniafo, Bompa, Jaman Nkwanta i Nakpaye.

Font: Elaboració pròpia amb HOMER

4.1.2. TREBALL DEL CAMP FOTOVOLTAIC

El resultats relacionats amb el camp fotovoltaic obtinguts de la simulació per cada comunitat són:

Taula 4.3. Resultats obtinguts sobre el treball dels camps fotovoltaics de cada comunitat en la simulació de HOMER.

	Seneso	Boniafo	Bompa	Jaman Nkwanta	Nakpaye
Hores de treball (h/any)	4.380	4.380	4.380	4.380	4.380
Potència mitjana de sortida (kW)	5,4	4,5	9,9	11,8	6,4
Potència mitjana de sortida (kWh/d)	129	108	239	284	154
Factor de producció (%)	17,9	18,0	18,1	18,2	18,3
Potència màxima de producció (kW)	30,1	25,1	55,2	65,3	35,1
Factor de penetració (%)	63,2	58,9	89,1	113	98,7

Font: Elaboració pròpia

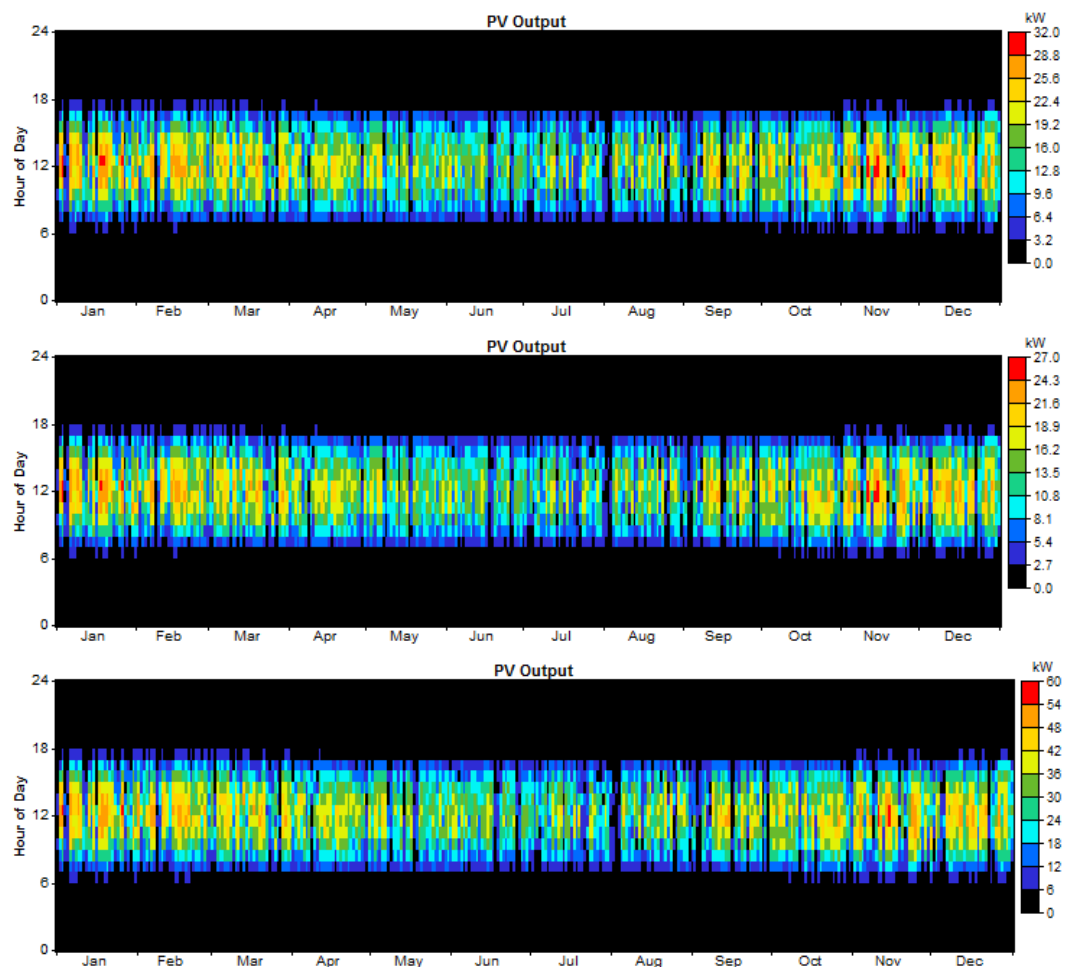


Figura 4.9. Treball diari del gasificador (en ordre i de dalt a baix) de Seneso, Boniafo i Bompa.

Font: Elaboració pròpia amb HOMER

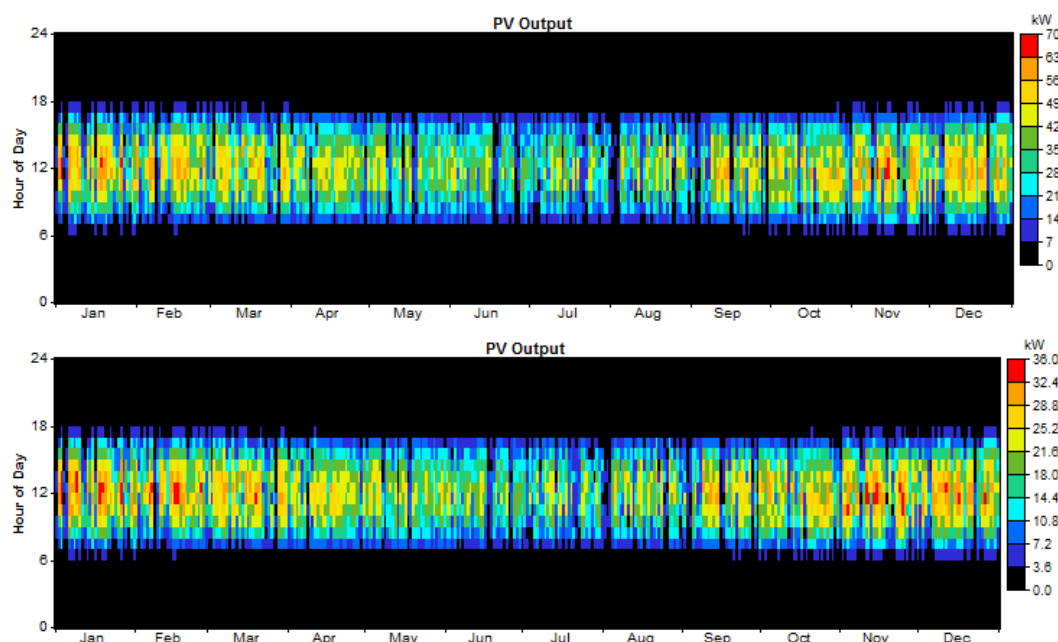


Figura 4.10. Treball diari del gasificador (en ordre i de dalt a baix) de Jaman Nkwanta i Nakpaye.

Font: Elaboració pròpia amb HOMER

4.1.3. TREBALL DEL GRUP GASIFICADOR-GENERADOR

El resultats relacionats amb el gasificador de biomassa obtinguts de la simulació per cada comunitat són:

Taula 4.4. Resultats obtinguts sobre el treball dels gasificadors de cada comunitat en la simulació de HOMER.

	Seneso	Boniafo	Bompa	Jaman Nkwanta	Nakpaye
Hores de treball (h/any)	2.358	2.276	2.251	1.828	2.129
Núm. d'engegades (engegades/any)	418	379	398	450	434
Vida útil (anys)	5,30	5,49	5,55	6,84	5,87
Factor de producció (%)	24,2	23,0	25,3	20,2	24,1
Potència mitja de producció (kW)	18,0	17,7	19,7	19,4	9,9
Potència mínima de producció (kW)	6,4	6,7	10,6	9,9	4,93
Potència màxima de producció (kW)	20,0	20,0	20,0	20,0	10,0
Consum de biomassa (tones/any)	29,5	28,2	30,0	24,1	14,2
Rati biomassa consumida/disponible (%)	49	33	89	100	97
Consum específic de biomassa (kg/kWh)	1,252	1,258	1,217	1,224	1,216
Eficiència mitja (%)	59,9	59,6	61,6	61,3	61,7

Font: Elaboració pròpia

Analitzant les dades exposades, se n'extreuen un seguit d'observacions/conclusions:

1. L'eficiència energètica dels gasificadors és alta, doncs se situa entre el 59% i el 62%.
2. La vida útil dels motors dels grups gasificador-generator és limitada (inferior a l'horitzó establert de 10 anys) i, per tant, caldrà substituir-lo com a mínim un cop en aquest període. Caldrà, doncs, estudiar la viabilitat econòmica i logística de canviar periòdicament el motor.
3. La disponibilitat de biomassa a les comunitats de Seneso i Boniado duplica, com a mínim, la biomassa disponible per fer funcionar el gasificador. En aquest cas, el limitant són les característiques tècniques del gasificador i no el recurs.
4. La disponibilitat de biomassa a les comunitats de Jaman Nkwanta i Nakpaye és limitada, doncs el rati biomassa consumida/disponible és del 100% o pràcticament; i, per tant, el funcionament o no del gasificador bé molt determinat per aquest factor. És a dir, la potència instal·lada en fotovoltaica podria ser menor en el cas de disposar de més biomassa útil.
5. Caldria fer un anàlisi de la disponibilitat de biomassa a Bompa i Nakpaye amb l'objectiu de determinar els moments exactes de collita i poder fer una distribució més precisa de la biomassa. L'objectiu que hi ha el darrere és poder trobar un resultat on una disponibilitat variable de la biomassa permeti optimitzar el resultat obtingut fins ara.

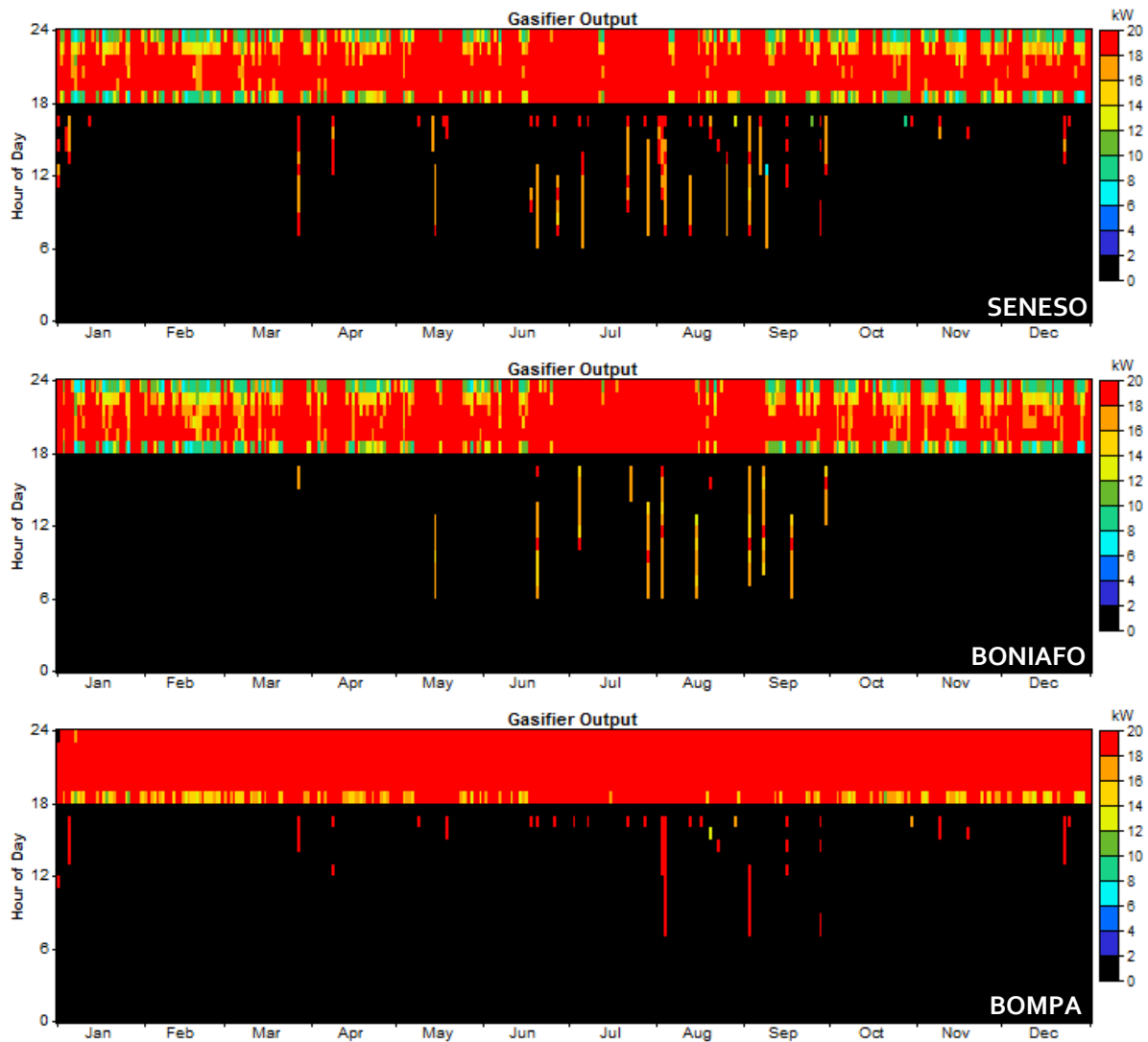


Figura 4.11. Treball diari del gasificador (en ordre i de dalt a baix) de Seneso, Boniifo i Bompa.

Font: Elaboració pròpia amb HOMER

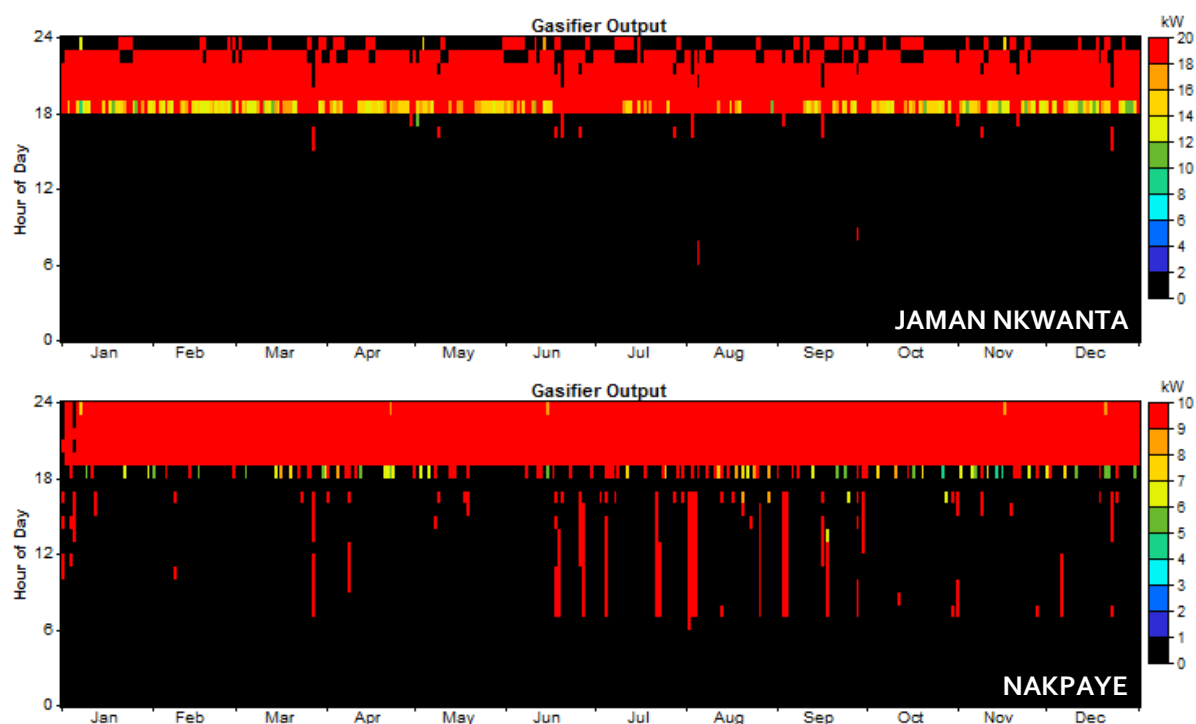


Figura 4.12. Treball diari del gasificador (en ordre i de dalt a baix) de Jaman Nkwanta i Nakpaye.

Font: Elaboració pròpia amb HOMER

4.1.4. BATERIES

El resultats relacionats amb les bateries obtinguts de la simulació per cada comunitat són:

Taula 4.5. Resultats obtinguts sobre el treball de les bateries de cada comunitat en la simulació de HOMER.

	Seneso	Boniafo	Bompa	Jaman Nkwanta	Nakpaye
Total de bateries (núm. de bateries)	48	48	120	144	48
Bancs en paral·lel (núm. de bancs)	2	2	5	6	2
Capacitat nominal (kWh)	244	244	610	732	244
Capacitat nominal utilitzable (kWh)	146	146	366	439	146
Autonomia (h)	17,2	19,2	32,8	41,8	22,5
Vida útil energètica (kWh)	314.263	314.263	785.657	942.788	314.263
Energia d'entrada (kWh/any)	24.215	23.148	39.643	41.330	22.303
Energia de sortida (kWh/any)	20.127	19.232	32.971	34.354	18.530
Minva de capacitat (kWh/any)	26 (11%)	17 (7%)	61 (10%)	45 (6%)	17 (7%)
Pèrdues (kWh/any)	4.062	3.900	6.610	6.932	3.755
Esperança de vida (anys)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0

Font: Elaboració pròpia

Cal destacar que l'autonomia de les bateries és inferior a 24 hores en els casos de Seneso, Boniafo i Nakpaye i inferior a 48 hores en els casos de Bompa i Jaman Nkwanta. Aquest fet pot ser crític doncs, si s'encadenen uns quants dies seguits sense un bon recurs solar a causa de condicions meteorològiques, la demanda no podrà ser coberta (com ja s'ha comentat anteriorment en el subapartat "4.1.1. Producció elèctrica resultant"). A més a més, cal tenir-ho en compte en el moment d'una avaria del grup gasificador-generador, doncs hi haurà poc temps de marge per a la reparació oportuna. Es podria considerar, doncs, la utilització d'un generador convencional en aquests moments puntuals.

També, s'observa com l'esperança de vida de les bateries és molt bona (10 anys en un horitzó d'igual durada), doncs supera la nominal de 8 anys.

A continuació, es poden observar l'estat de càrrega diària (per mesos) de les bateries:

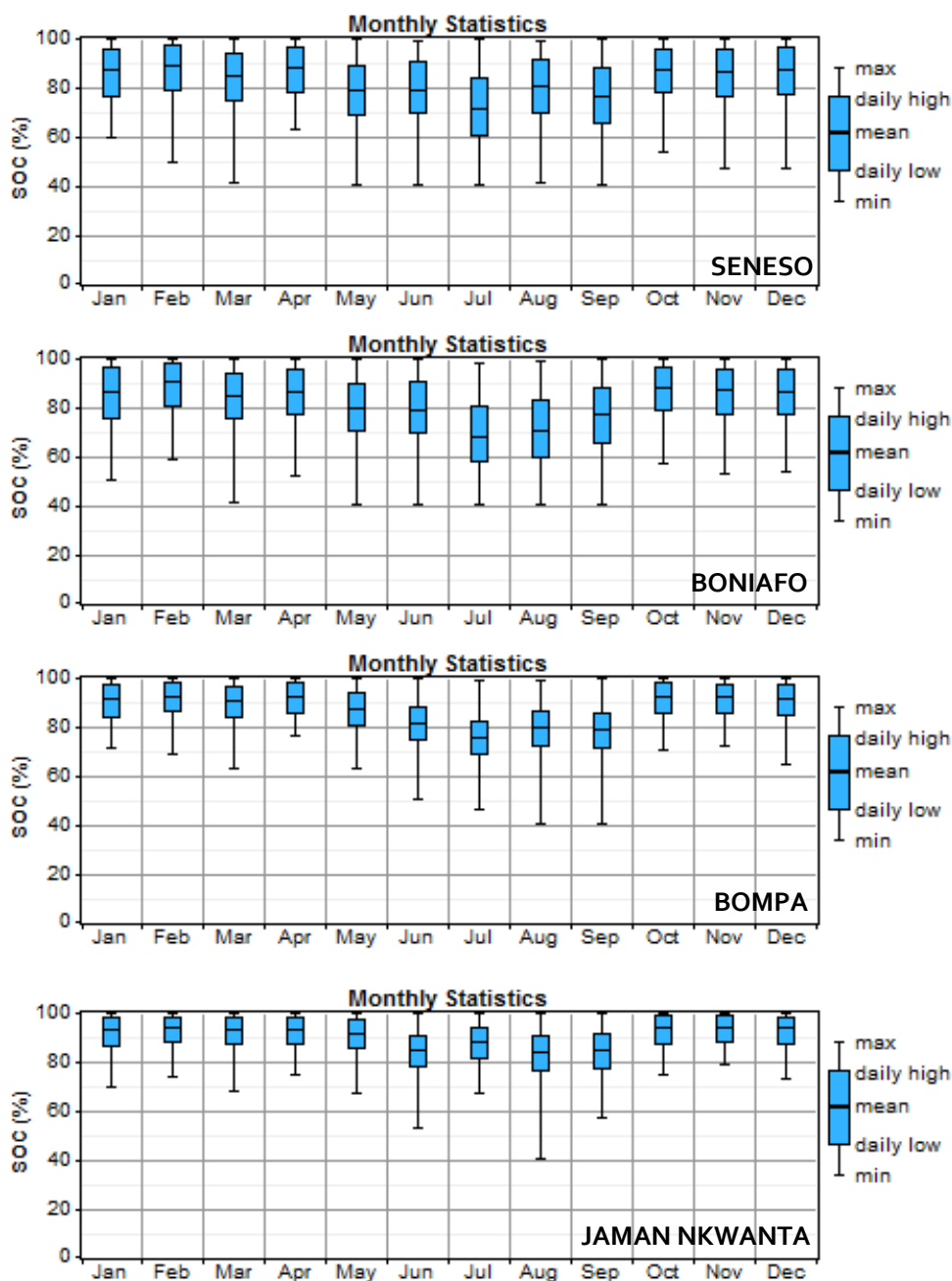


Figura 4.13. Estat de càrrega diària (per mesos) de les bateries obtinguda en la simulació amb el HOMER (en ordre i de dalt a baix) de Seneso, Boniafo, Bompa i Jaman Nkwanta.

Font: Elaboració pròpia amb HOMER

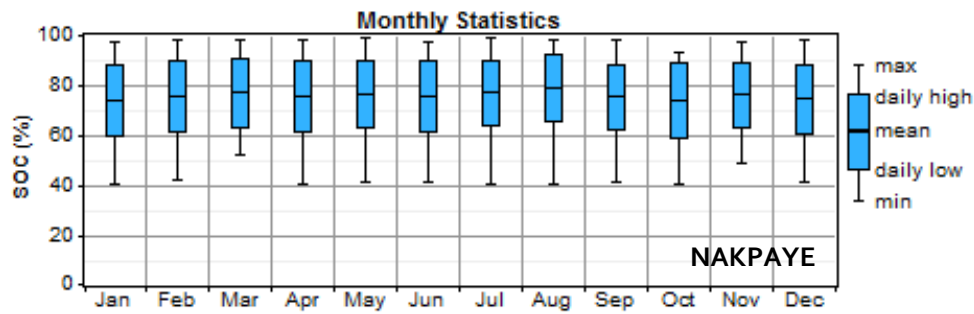


Figura 4.14. Estat de càrrega diària (per mesos) de les bateries obtinguda en la simulació amb el HOMER de Nakpaye.

Font: Elaboració pròpia amb HOMER

4.1.5. ONDULADOR-CARREGADOR DE BATERIES

El resultats obtinguts de la simulació del treball de l'ondulador-carregador de bateries per cada comunitat són els següents:

Taula 4.6. Resultats obtinguts sobre l'ondulador-carregador de bateries de cada comunitat en la simulació de HOMER.

Inversor/Rectificador	Seneso	Boniafo	Bompa	Jaman Nkwanta	Nakpaye
Capacitat (kW)	12	12	24	30	12
Sortida mitja (kW)	4,8 / 1,0	4,2 / 1,0	6,7 / 0,5	6,8 / 0,3	4,4 / 0,2
Sortida mínima (kW)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sortida màxima (kW)	10,8 / 12,0	9,8 / 12,0	20,3 / 12,3	30,0 / 13,3	12,0 / 7,3
Factor de treball (%)	40,3 / 8,3	35,1 / 8,5	28,0 / 2,3	22,7 / 1,0	36,4 / 1,9
Hores de treball (hores/any)	6.662 / 2.097	6.564 / 2.193	7.851 / 907	8.115 / 639	7.749 / 1.010
Energia d'entrada (kWh/any)	47.056 / 10.236	41.004 / 10.480	65.433 / 5.569	66.288 / 3.123	42.482 / 2.410
Energia de sortida (kWh/any)	42.351 / 8.701	36.903 / 8.908	58.890 / 4.734	59.659 / 2.654	38.234 / 2.048
Pèrdues (kWh/any)	4.706 / 1.535	4.100 / 1.572	6.543 / 835	6.629 / 468	4.248 / 361

Font: Elaboració pròpia

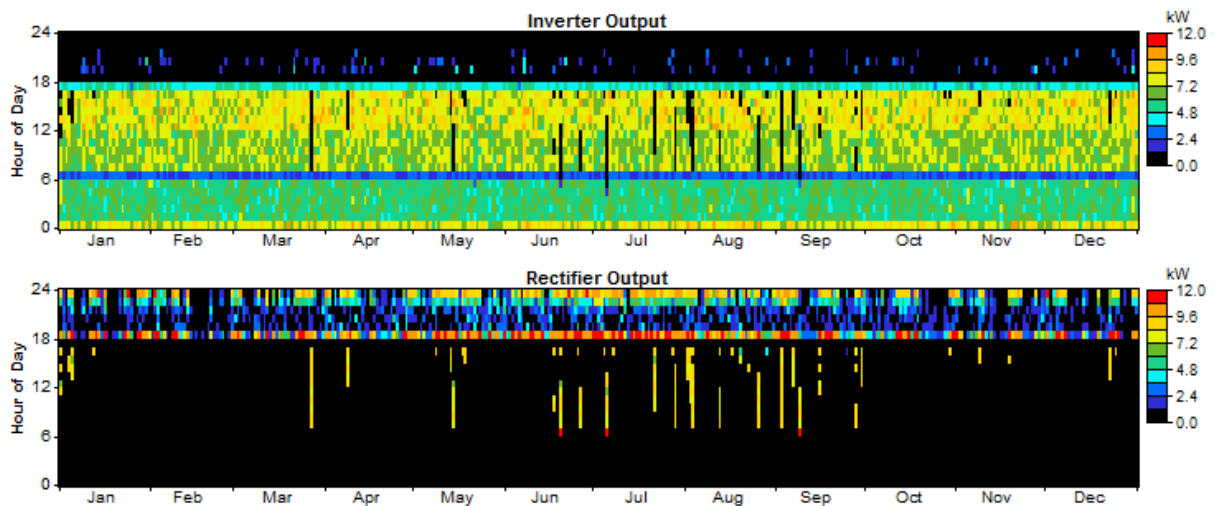


Figura 4.15. Treball de l'inversor i el rectificador obtingut en la simulació amb el HOMER per Seneso.

Font: Elaboració pròpia amb HOMER

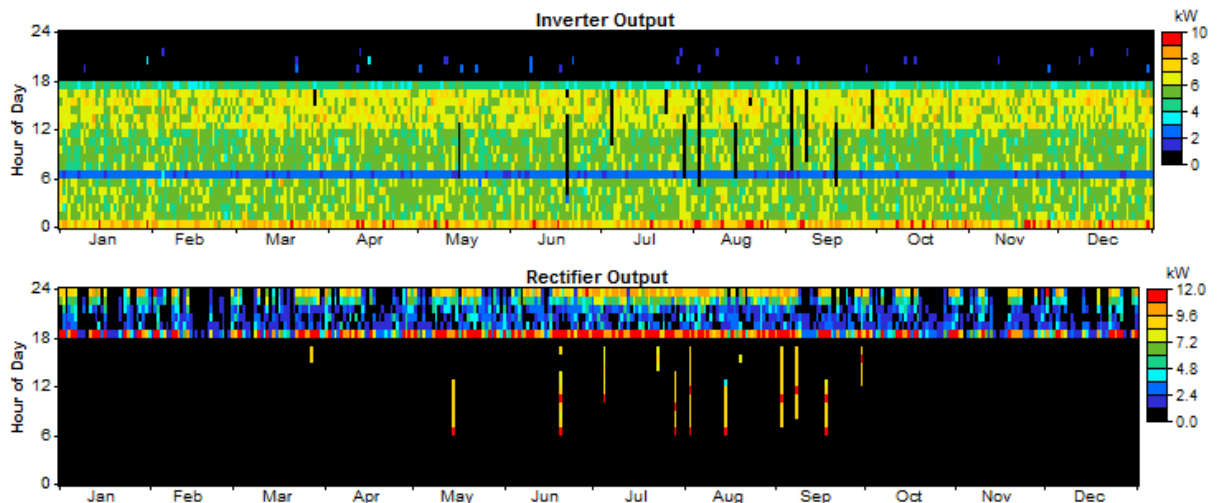


Figura 4.16. Treball de l'inversor i el rectificador obtingut en la simulació amb el HOMER per Boniafo.

Font: Elaboració pròpia amb HOMER

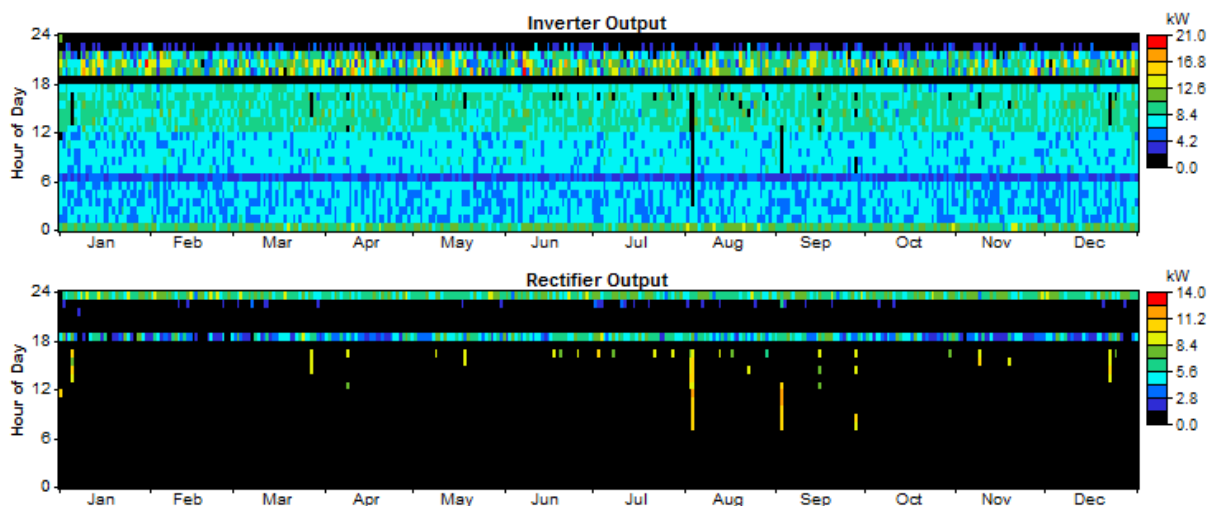


Figura 4.17. Treball de l'inversor i el rectificador obtingut en la simulació amb el HOMER per Bompà.

Font: Elaboració pròpia amb HOMER

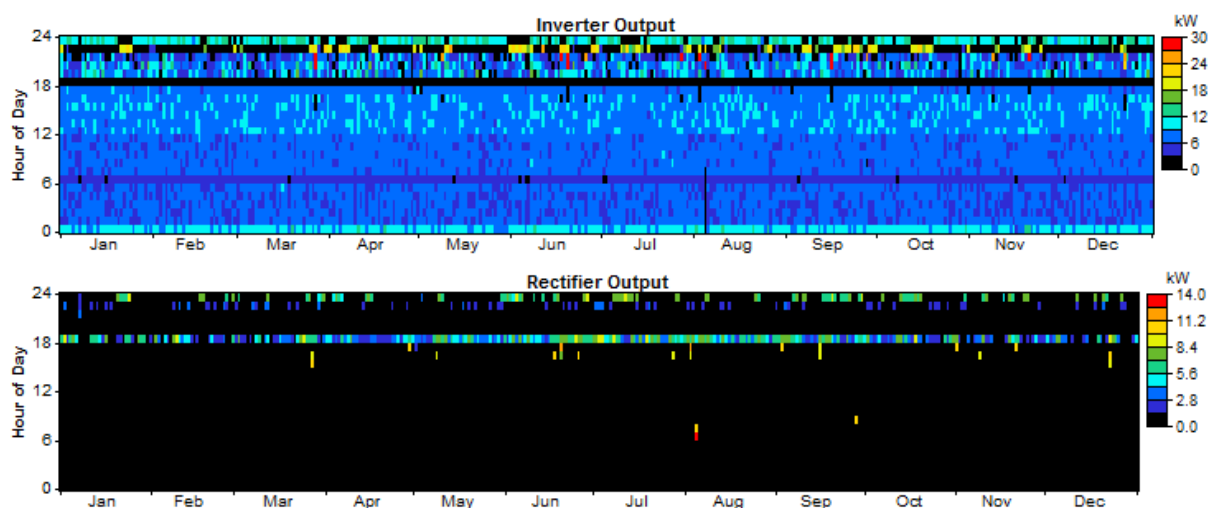


Figura 4.18. Treball de l'inversor i el rectificador obtingut en la simulació amb el HOMER per Jaman Nkwanta.

Font: Elaboració pròpia amb HOMER

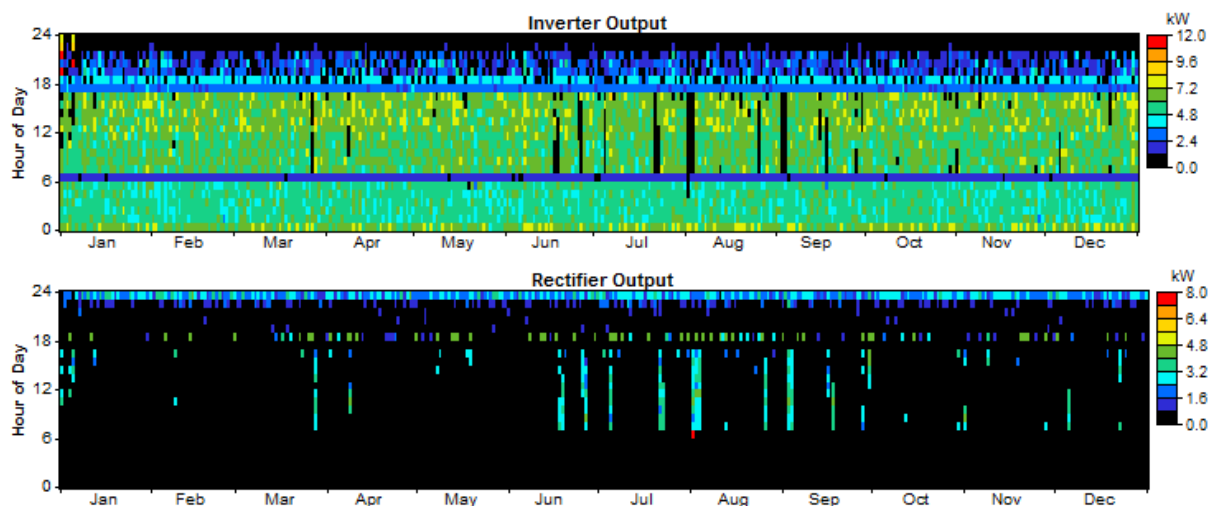


Figura 4.19. Treball de l'inversor i el rectificador obtingut en la simulació amb el HOMER per Nakpaye.

Font: Elaboració pròpia amb HOMER

4.2. SOLUCIÓ TÈCNICA PROPOSADA

Abans de fer una proposta tècnica, cal definir quins estàndards de qualitat haurà de seguir la instal·lació. Per fer-ho, s'ha utilitzat el projecte "Ghana: Energy Development and Access Project" del Banc Mundial amb el MoEP com a referència, en concret del plec de requeriments tècnics elaborat pel mateix MoEP (MoEP, 2013). Aquest document especifica que s'han de seguir la sèrie d'estàndards IEC 62257: <<Recommendations for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification>>.

A més a més, s'inclouen aquests estàndards definits en conjunt per KITE i l'equip de treball de l'UPC:

- IEC 60364 (all parts), Low-voltage electrical installations.
- IEC 60364-4-41, Low-voltage electrical installations – Part 4-41: Protection for safety Protection against electric shock.

En el moment de produir-se una adjudicació del projecte per part d'un organisme nacional o internacional, s'hauran de generar el plànols, els esquemes elèctrics, les memòries, les especificacions de construcció i els laminats del projecte, ocupant-se específicament de:

- Disseny del sistema: disseny i càlculs d'enginyeria, incloent la mida de tots els components, el cablejat, les normes internacionals aplicables (veure per exemple les referències estàndards IEC esmentats anteriorment), els codis de seguretat i bones pràctiques. Les restriccions de disseny seran considerades i remarcades.
- Configuració del sistema: la distribució dels generadors d'acord amb la disponibilitat de la biomassa, les restriccions estructurals, ambientals i d'impacte social. Els ondulators i tots els altres components del sistema es configuraran amb compte d'acord amb la majoria d'estàndards internacionals i les recomanacions de l'operador local. Les especificacions dels equips d'interfície entre els gasificadors i la xarxa es detallaran en aquesta activitat.
- Disseny detallat de l'enginyeria civil/estructural: en aquesta etapa la informació rellevant serà ja disponible a partir d'un estudi preliminar i que serà utilitzat per dissenyar la infraestructura del sistema (planta i sostre), així com per als edificis auxiliars tècnics apropiats.
- El material local i tècniques estructurals s'utilitzaran per mitigar els riscos derivats de les condicions ambientals i climàtiques particulars, basant-se en la tradició local de construcció. D'altra banda, es comptarà amb el suport d'experts i tècnics locals per fer les decisions clau finals.
- Proteccions i recomanacions i directrius sobre qüestions de seguretat: la configuració estàndard de protecció i els dispositius seran dissenyats i inclosos en l'estudi amb cura. Respecte els aspectes de seguretat dels treballadors durant la construcció i la instal·lació dels sistemes, una "guia de seguretat" obligatòria que s'inclourà en la licitació s'elaborarà amb la finalitat de prevenir accidents i el mal ús dels equips crítics durant les fases d'instal·lació, operació, manteniment i reparació. Respecte els usuaris i operadors finals, també s'elaboraran els aspectes de seguretat per destacar els perills derivats d'alguns equips.

4.2.1. SUBSISTEMA DE GENERACIÓ

El subsistema de generació és la part del sistema elèctric on es genera l'energia necessària per suplir la demanda ja descrita a l'Apartat 3.1 - Demanda de potència i energia.

El sistema proposat depèn d'una solució híbrida amb dues fonts energètiques: la gasificació de biomassa en forma residu agrícola i l'energia solar fotovoltaica. Aquesta solució requereix 2 (Seneso, Boniado i Nakpaye), 5 (Bompa) i 6 (Jaman Nkwanta) bancs de 24 bateries (48VDC). Aquestes bateries supliran el gasificador quan aquest estigui treballant a màxima potència i no pugui subministrar prou energia com per cobrir la demanda o bé quan el gasificador estigui apagat durant la nit o per tasques de manteniment i neteja.

S'ha especificat un punt de descàrrega en el qual, quan l'estat de càrrega de les bateries decaigui fins a un 40% de la seva capacitat, el gasificador haurà d'engegar-se (en el cas d'estar apagat) per cobrir la demanda i carregar les bateries evitant que aquestes es puguin descarregar a nivell molt baixos, el qual és molt perjudicial per aquestes.

El subsistema de generació elèctrica consta dels següents elements:

- Un gasificador de biomassa.
- Un camp fotovoltaic.
- Bancs de bateries.
- Reguladors elèctrics.
- Les corresponents proteccions.
- Les construccions on acollir els elements anteriors i l'emmagatzematge de la biomassa.
- Un generador dièsel de suport (opcional).

GASIFICADOR DE BIOMASSA

El generador proposat per a les 3 comunitats del Brong Ahafo i la comunitat Jaman Nkwanta és el gasificador de biomassa Power Pallet PP20. Pel cas concret de la comunitat Nakpaye un grup Power Pallet PP10. Aquests grups gasificador-generador és de les poques solucions tecnològiques de gasificació disponibles al mercat que ha demostrat un funcionament fiable i eficient per a la generació a petita escala i en constant evolució.

El Power Pallet inclou un cervell electrònic *onboard* al qual se li ha incorporat "l'experiència" fins ara manual i un sistema de recuperació de la calor dels fums del motor i del propi gas de síntesi per a la seva utilització en altres punts del sistema de gasificació. Aquesta integració tèrmica gasificador-motor millora significativament la conversió dels quitrans, la flexibilitat de combustible i l'eficiència general del sistema gasificador-motor. Permet resoldre la qüestió dels quitrans en el reactor (molt crític en la tecnologia *downdraft*), evitant així un gran sistema de filtració aigües avall, reduint significativament el cost, la complexitat i la instal·lació.

El resultat és una solució compacta i tècnicament avançada. És una solució que pot oferir el funcionament desatès en gran mesura que s'espera d'equips de generació energètica contemporanis. I donada la seva arquitectura de components minimitzat, permet establir un preu específic d'entre 1-2\$ per watt.

Taula 4.7. Característiques tècniques del gasificador de biomassa PP10.

CARACTERÍSTIQUES TÈCNIQUES DEL GRUP GASIFICADOR-GENERADOR PP10 (10kW)			
Concepte/Descripció	Unitats	Característiques requerides	Característiques garantides
Manufacturer			All Power Labs
Model Name			Power Pallet PP10
Gasifier type			Downdraft fixed bed
Nominal power	kW	10 kW	10 kW
Biomass consumption	kg/h		12kg per hour at 10kW
Fuel moisture tolerance	%	<20%	Up to 30%
Overall dimensions (LxWxH)	m		
Weight	kg		
Feedstock Hopper Capacity	l		
Engine			Kubota DG-972
Engine lifetime	hours		Over 10.000h
Generator			Meccalte ECP3_2
Generator frequency	Hz	50Hz	
Generator Poles			2
Min. load supply	kW		2kW
dB rating @7m	dB		60 dB
Warranty	years		2 years

Font: AllPowerLabs.com

Taula 4.8. Característiques tècniques del gasificador de biomassa PP20.

CARACTERÍSTIQUES TÈCNIQUES DEL GRUP GASIFICADOR-GENERADOR PP20 (20kW)			
Concepte/Descripció	Unitats	Característiques requerides	Característiques garantides
Manufacturer			All Power Labs
Model Name			Power Pallet PP20
Gasifier type			Downdraft fixed bed
Nominal power	kW	20 kW	20 kW
Max. Continuous Power Output	kW		15kW@50Hz / 18kW@60Hz
Biomass consumption	kg/h		22kg per hour at 18kW
Fuel moisture tolerance	%	<20%	Up to 30%
Overall dimensions (LxWxH)	m		1,4 x 1,4 x 2,2
Weight	kg		1065 kg
Feedstock Hopper Capacity	l		325 liters
Engine			GM Vortec 3000
Engine lifetime	hours		Over 10.000h
Generator			Meccalte NPE32
Generator frequency	Hz	50Hz	
Generator Poles			4
Min. load supply	kW		2kW
dB rating @7m	dB		70 dB
Warranty	years		2 years

Font: AllPowerLabs.com

SISTEMA FOTOVOLTAIC

El segon sistema de generació serà la instal·lació fotovoltaica PV. La capacitat del generador fotovoltaic és de 30kWp per Seneso, 25kWp per Boniafo, 55 kWp per Bompa, 65kWp per Jaman Nkwanta i, per últim, 35kWp per Nakpaye. El mòdul fotovoltaic proposat és el REC240PE de 240W del fabricant REC Group, amb una eficiència del mòdul del 14,2%. El REC240PE és un mòdul fabricat en sèrie que s'utilitza àmpliament per a projectes on l'energia es transmet a la xarxa i, per tant, compleix amb tots els estàndards internacionals per aquest tipus de tecnologia, com per exemple: IEC 61730, UL1703, ISO 14001, ISO 9001 i altres certificacions de qualitat.

L'ús d'aquest tipus de mòdul en una aplicació aïllada (desconnectada de la xarxa nacional) es realitza mitjançant l'ús de reguladors de càrrega solar apropiats, on la sortida dels mòduls es transforma per tal d'adaptar-se la tensió de la bateria del sistema.



Figura 4.20. Fotografia d'un mòdul REC240PE.

Font: Catàleg de REC Group

Les característiques tècniques dels mòduls fotovoltaics són les que es presenten a continuació:

Taula 4.9. Característiques tècniques dels mòduls fotovoltaics.

CARACTERÍSTIQUES TÈCNIQUES DEL MÒDUL FOTOVOLTAIC			
Concepte/Descripció	Unitats	Característiques requerides	Característiques garantides
Manufacturer			REC Group
Model Name			REC240PE
Cell Type		Mono/poly-crystalline	Poly Cristalline
Module Maximum Power	W	250	240
Module Minimum Power	W	237	240
Tolerance of Max Power	%	+/-5	+/-5
Module open Circuit Voltage	V	34 - 38	36.8V
Module short circuit current	A	8.5 – 9.0	8.75A
Module Max Power Voltage	V	30	29.7V
Module Max Power Current	A	8	8.17A
Module efficiency	%	≥14	14.5%
Normal Operating Cell Temp	°C	35	45.7°C
Max Reverse Current	A	15	25A
Series fuse Rating	A	15	25A
Temperature Coefficient of Pmax	%/K	0.5	-0.4
Maximum System Voltage	VDC	600	1000V
Length	mm		1665
Width	mm		991
Depth	mm		38
Weight	kg		18Kg
Warranty	years	10	10
Power attenuation		10 years < 10% 15 years < 15%	Yes
Array unit peak power	W		240Wp/mod
Number of modules			360
Surface of each modules			1.65m ² /mod
Total peak power	kW		86.4
Generator rated voltage	Vdc		

Font: KITE, UPC. Feasibility Study and Detailed Engineering of Small Scale Biomass Gasification Mini Grids for Electricity Services in Rural Com-munities in Ghana, July, 2014 (en procés d'elaboració)

En el disseny de la zona de generació, es considerarà la construcció de l'estructura de suport dels panells fotovoltaics com una pèrgola que permetrà l'ús de l'espai cobert per altres usos (per exemple, per l'emmagatzematge de la biomassa o d'eines).

Les característiques tècniques de l'estructura de suport del camp fotovoltaic són les que es presenten a continuació:

Taula 4.10. Característiques tècniques de l'estructura de suport del camp fotovoltaic.

CARACTERÍSTIQUES TÈCNiques DE L'ESTRUCTURA DE SUPORT DEL CAMP FOTOVOLTAIC			
Concepte/Descripció	Unitats	Característiques requerides	Característiques garantides
Number of structures			1 at each community
Type of structure			Ground-mounted
Number of panels			128 in Seneso (30,7kWp) 108 in Boniafo (25,9kWp) 232 in Bompa (55,7kWp)
Number of modules/structure			272 in Jaman Nkwanta (65,3kWp) 148 in Nakpaye (35,5kWp)
Material		Galvanized Steel	Galvanized steel
Anchoring method			
Incline of panels (°/horizon)			16,5º - 17,5º
Degree of incline variability			
Orientation of panels (°/North)			180º North
Degree of orientation variability			
Surface to be reserved			
Tracking axis if applicable			
Min. load supply	kW		
Warranty	years		2 years

Font: Elaboració pròpia

EMMAGATZEMATGE

El sistema d'emmagatzematge d'electricitat es basa en bateries electroquímiques dissenyats especialment per a sistemes basats en renovables. Les bateries són de plom-àcid segellades tipus OPzV. Aquest tipus de bateries es dissenyen específicament per a aplicacions amb cicles freqüents de càrrega i descàrrega com requereixen les aplicacions amb energies renovables per a l'electrificació rural.

El banc de bateries seleccionat per a aquesta proposta és de l'empresa Hoppecke. Aquest fabricant té molts anys d'experiència i és un dels pioners en la producció de bateries per al seu ús en aplicacions principalment solars, però replicables a d'altres fonts.

La bateria OPzV té una capacitat cicle de descàrrega profunda, amb una esperança de vida de fins a 1.500 cicles quan es descarrega al 80% de la seva capacitat de càrrega, a una temperatura de 25°C. Això s'aconsegueix per la seva estructura de la placa tubular. La placa tubular és físicament més forta i més gruixuda que les bateries convencionals de placa plana, el que permet un millor rendiment cíclic.

L'ús de gel com electròlit és molt avantatjós doncs l'usuari no necessita reomplir les bateries amb aigua destil·lada constantment, eliminant el cost de transport d'aigua a zones remotes i l'eliminació dels riscos de contaminació de l'electròlit amb brutícia que podria danyar seriosament les bateries. El cablejat i proteccions de corrent continu s'inclouen amb els bancs de bateries.



Figura 4.21. Fotografia d'una cèl·lula Hoppecke OPzV 2900.

Font: Catàleg de Hoppecke

El nombre de bateries proposat per a cada comunitat és de 48 bateries, agrupades en 2 bancs, per a Seneso, Boniafo i Nakpaye; 120 bateries, agrupades en 5 bancs, per a Bompa; i per Jaman Nkwanta 144 bateries, agrupades en 6 bancs. Cada banc està conformat per 24 bateries en sèrie ja que la tensió de treball del circuit és de 48VDC (requerit per l'ondulador-carregador de bateries escollit) i cada bateria té un voltatge nominal de 2VDC.

Les característiques tècniques de les bateries són les que es presenten a continuació:

Taula 4.11. Característiques tècniques de les bateries.

CARACTERÍSTIQUES TÈCNIQUES DE LES BATERIES			
Concepte/Descripció	Unitats	Característiques requerides	Característiques garantides
Manufacturer			Hoppecke
Model Name			OPzV solar.power 2900
Battery type		Deep Cycle Sealed (C20) Gel	Deep Cycle Sealed
Nominal voltage	V		2V/cell
Nominal capacity	Ah		3258Ah @C100
Deep cycle capability		2500 cycles at 50%	3000 cycles at 50%
Self discharge rate at 25°C	%/month	≤5	3%/month
Depth of discharge	%	70%	70%
Case material		polypropylene	Yes
Operating temperature range	oC	15 - 45	10-45
Overall dimensions (LxWxH)	Mm		1 cell = 215x490x815
Weight	Kg		186.5Kg/cell
Warranty	years	5	2 years (extendable to 5 years with extra-cost)

Font: KITE, UPC. Feasibility Study and Detailed Engineering of Small Scale Biomass Gasification Mini Grids for Electricity Services in Rural Communities in Ghana, July, 2014 (en procés d'elaboració)

REGULADOR DE CÀRREGA (CC/CC)

El regulador de càrrega és el component crític en un sistema d'energia solar autònom. El MPPT incorporat (seguiment del punt de màxima potència) analitza periòdicament el generador fotovoltaic connectat i n'obté l'energia d'aquest a la tensió en la qual es produeix la màxima potència; com que la tensió de la matriu en aquest punt és superior que el de la bateria, el convertidor transforma la tensió (minimitzant les pèrdues de conversió) per tal que el regulador de càrrega carregui les bateries amb el voltatge adequat.

Gràcies a la funció de MPPT, el voltatge del mòdul pot ser major que el voltatge de la bateria, el que significa que els sistemes autònoms d'energia solar ja no depenen d'ús de mòduls convencionals fora de la xarxa, que estan deixant de ser produïts en massa.

El regulador de càrrega proposat és l'Studer Innotec VT80, que està dissenyat per funcionar a temperatures altes.



Figura 4.22. Fotografia d'un regulador Studer Innotec VT80.

Font: Catàleg de Studer Innotec

El número de reguladors que s'instal·laran per comunitat són: 4 per Seneso i Boniafo, 7 per Bompa, 8 per Jaman Nkwanta i 5 per Nakpaye.

Les característiques tècniques del regulador de càrrega CC/CC són les que es presenten a continuació:

Taula 4.12. Característiques tècniques dels mòduls fotovoltaics.

CARACTERÍSTIQUES TÈCNIQUES DEL REGULADOR CC/CC			
Concepte/Descripció	Unitats	Característiques requerides	Característiques garantides
Manufacturer			Studer Innotec
Model Name			VT-80
Nominal system voltage	V		48Vdc
Input voltage range	V		145Vdc
Rated current	A		75A
Maximum current	A		80A
Over load protection	%	125	Yes
Low voltage disconnect	V		7Vdc
High voltage cut-off	V		68Vdc
Load re-connect	V		Yes
Adjustable low/high voltage setting		Yes	Yes
Temperature compensation	mV/oC	-4	-3mV/oC
Operating temperature range	oC	15 – 45	-20 to 55°C
Status Display type			Yes
Charging technology		Series PWM	MPPT
Stand by consumption	mA	≤30	25mA
Short circuit protection		Yes	Yes
Over voltage protection		Yes	Yes
Reverse polarity protection		Yes	Yes
Over temperature protection (dis-connection/ connection)	oC	≥85/ ≤75	
IP Protection		IP22	IP54
Overall dimensions (LxWxD)	mm		120 x 220 x 350
Weight	kg		5.5
Warranty	years	5	5

Font: KITE, UPC. Feasibility Study and Detailed Engineering of Small Scale Biomass Gasification Mini Grids for Electricity Services in Rural Com-munities in Ghana, July, 2014 (en procés d'elaboració)

ONDULADOR-CARREGADOR DE BATERIES (CC/CA)

Per la interconnexió dels circuits que treballen en corrent continu i corrent altern, es proposa un convertidor bidireccional de Studer-Innotec: l'ondulador-carregador de bateries Xtender XTH 6000-48. Per poder suplir la demanda màxima de la comunitat no coberta pel gasificador, són necessaris 2 Xtender de 6VA per Seneso, Boniafo i Nakpaye, 4 per Bompa i 5 per Jaman Nkwanta.

La baixa potència d'autoconsum d'aquest ondulador fa que sigui ideal per aquesta aplicació. Quan no es troba una càrrega de corrent altern actiu, l'ondulador consumeix només 2,4 W en *standby*. Quan una càrrega s'encén, l'ondulador pot subministrar immediatament energia sense cap tipus de demora.

A més d'això, el XTH6000-48 té un carregador de bateria incorporada que és capaç de convertir l'energia de CA (del gasificador) cap a l'alimentació de CC per carregar el banc de bateries.

El XTH 6000-48 té 2 relés intel·ligents incorporats i poden ser utilitzats per a diversos fins de la desconexió de càrrega, arrancar un generador, connectar ventiladors en funció de la temperatura de les bateries i, fins i tot, per a proporcionar senyals visuals relatius a l'estat de càrrega de bateries i poder donar avís de la necessitat d'engegada del gasificador per part de la persona encarregada de la generació.

Les característiques tècniques de les bateries són les que es presenten a continuació:

Taula 4.13. Característiques tècniques de l'ondulador-carregador de bateries.

CARACTERÍSTIQUES TÈCNIQUES DE L'ONDULADOR-CARREGADOR DE BATERIES			
Concepte/Descripció	Unitats	Característiques requerides	Característiques garantides
Manufacturer			Studer Innotech
Model Name			XTH 6000-48
Converter type		Solid state	Yes
Continuous Power Rating	kW		5000kW
Nominal input voltage	Vdc		48Vdc
Wave form		Pure sine wave	Yes
Input voltage range	%	±10	Yes
Nominal output voltage	V	230	230V
Voltage regulation		yes	Yes
Output voltage range	%	±10	Yes
Nominal Frequency	Hz	50	Yes
Frequency range	%	±2	±0.05
Maximum current	A _{dc}		100A
Maximum (AC) current and time:	A/sec		50Aac (<15ms)
Peak Efficiency	%	≥90	96%
Energy consumption at no load:	W		2.4W
Reverse polarity protection		yes	Yes
High voltage disconnect/ reconnect	V		265Vac
Total Harmonic Distortion	%	≤3	<2%
Low voltage disconnect/ re-connect	V		150Vac
High temperature disconnect/ re-connect (heat sink)	°C	≥90/ ≤80	
Overload protection		yes	Yes



Figura 4.23. Fotografia d'un ondulador Studer Xtender XTH 6000-48.

Font: Catàleg de Studer Innotech

CARACTERÍSTIQUES TÈCNiques DE L'ONDULATOR-CARREGADOR DE BATERIES			
Concepte/Descripció	Unitats	Característiques requerides	Característiques garantides
Short circuit protection		yes	Yes
Operating temperature range	°C	15 - 45	-20 to 55°C
Overall dimensions (LxWxD)	mm		230 x 300 x 500
Weight	kg		42
Power Factor Allowed		-1 to 1	Yes
Maximum allowable pass through current from a.c. loads (if any):	A		56Aac
Warranty	years	10	5 (extendable to 10 years with extra-cost)

Font: KITE, UPC. Feasibility Study and Detailed Engineering of Small Scale Biomass Gasification Mini Grids for Electricity Services in Rural Communities in Ghana, July, 2014 (en procés d'elaboració)

4.2.2. SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓ

El plec d'especificacions tècniques que s'enumeren a continuació seran el màxim o el mínim, el que sigui més restrictiu.

LÍNIES AÈRIES de Baixa Tensió (BT)

Un pal elèctric de fusta BT de 8m o 9m d'alçada s'ha de clavar a una profunditat de 1,5 m per constituir un pal de BT. La distància habitual entre els pals serà de 42 metres i el màxim serà de 50 metres.

Tots els pals de baixa tensió amb un angle de desviació entre 2 graus i 45 graus tindran un suport. Els pals de baixa tensió amb una inclinació entre 45 graus i 90 graus disposaran de dos suports.

La línia de neutre haurà d'estar connectada a terra de manera efectiva a tots els pals terminals i, en general, cada deu pols.

Respecte de les estructures existents, es respectarà el següent espai lliure mínim per a les línies aèries de baixa tensió:

- Respecte del terra creuant carreteres principals: 5,8m.
- Respecte del terra en tots els altres llocs: 4,0m.
- Horitzontalment respecte els edificis: 2,0m.
- Verticalment respecte d'estructures: 1,5 m.
- Sota línies de 161kV: 3,0m.
- Sota línies de 34,5kV: 2,3m.
- Sota línies d'11,5kV: 2,0m.

PROPOSTA DE DISTRIBUCIÓ (PLÀNOLS)

A l'Annex G, s'adjunten 5 plànols amb una proposta preliminar de la línia de distribució de la micro-xarxa per a cadascuna de les 5 comunitats, on es poden distingir les diferents infraestructures de les comunitats, a més a més de l'emplaçament per a la ubicació de la infraestructura corresponent al subsistema de generació.

4.2.3. SUBSISTEMA DE CONSUM

El disseny i la instal·lació del subsistema de consum seguiran la sèrie IEC 62257 <<Recommendations for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification>>, la norma IEC 60364 (totes les parts) <<Electrical installations of buildings>>, la norma IEC 60439-3: 1990, <<Low-voltage switchgear and control gear assemblies – Part 3: Particular requirements for low-voltage switchgear and control gear assemblies intended to be installed in places where unskilled persons have access for their use – Distribution boards Amendment 1:1993 Amendment 2:2001>>.

El subsistema de consum inclourà una instal·lació de cablejat a cada llar de cada comunitat. El subsistema de cada llar inclou una quadre de corrent altern (CA) amb proteccions de seguretat, un dispensador Smart Meter Dispenser B II amb targeta RFID del fabricant Circutor, totes les connexions de terra, així com alguns endolls per a aparells de CA. També es proposa la instal·lació d'algunes bombetes de 15W per a cada llar.

El dispensador de l'electricitat B II és un comptador monofàsic amb una funció de distribució d'energia elèctrica per controlar la demanda. La funció de dispensador d'energia es basa en el concepte patentat de l'assignació diària d'energia, el que permet a l'usuari una gestió intel·ligent de l'energia elèctrica disponible a les xarxes amb generació limitada o polsant, com són els alimentats amb fonts d'energia renovables. Inclou un interruptor principal que funciona com a control de màxima potència i màxima demanda, així com un interruptor auxiliar que es pot utilitzar per a la connexió o la desconexió dels consums no essencials. El mesurador d'energia compleix amb la normativa europea (MID) EN 50470-1 i EN 50470-3, sent classe B per a la mesura d'energia activa i classe 2 per a la mesura de l'energia reactiva. Té un port òptic estàndard i un port de comunicacions per a connexió de xarxa utilitzada per a l'escriptura i la lectura de paràmetres i registre de dades. Incorpora un lector wireless de targetes RFID on els paràmetres de configuració, d'acord a la xarxa on es connectarà, estan inclosos i també s'utilitza com un contracte i el control de facturació. La pantalla LCD i els LED permeten a l'usuari comprovar la disponibilitat d'energia.



Figura 4.24. Fotografia d'un dispensador Circutor Dispenser B II.

Font: Catàleg de Circutor

Taula 4.14. Característiques tècniques de l'aparell de gestió/control de demanda.

CARACTERÍSTIQUES TÈCNIQUES DEL DISPENSADOR D'ELECTRICITAT			
Concepte/Descripció	Unitats	Característiques requerides	Característiques garantides
Manufacturer			Circutor
Model Name			Dispenser B II
Control type			Demand Control
Nominal voltage	V		230V or 120V
Nominal current	A		10A
Frecuency	Hz		50 or 60
Load disconnect voltage (pick-up)	V		
Drop out voltage	V		
Power requirements	W		<2
Accuracy	%		80% - 115% U_n
Contact resistance			

CARACTERÍSTIQUES TÈCNiques DEL DISPENSADOR D'ELECTRICITAT			
Concepte/Descripció	Unitats	Característiques requerides	Característiques garantides
Contact material	mΩ		
Contact rating	A		
Max Switching voltage	V	230	230V
Max Switching current	A		5A
Max Switching power	W		
Electrical life	No of ops		
Operating temperature range	°C	15 – 45	-25 to 70°C
Overall dimensions (LxWxD)	mm		215 x 129 x 62
Weight	kg		
Warranty	years	5	5

Font: KITE, UPC. Feasibility Study and Detailed Engineering of Small Scale Biomass Gasification Mini Grids for Electricity Services in Rural Communities in Ghana, July, 2014 (en procés d'elaboració)

CONCLUSIONS

L'energia, en totes les seves formes, ha estat des de sempre un agent transformador de qualsevol societat humana. No només a nivell tecnològic, sinó també a altres nivells, com el social, l'econòmic o el cultural. És, sota aquest paradigma, que s'ha desenvolupat la present proposta i amb la consciència que qualsevol transformació té les seves incerteses.

El projecte en procés de codesenvolupament <<Feasibility study and detailed engineering of small scale biomass gasification mini grids for electricity services in rural communities in Ghana>> pretén establir precedents en l'electrificació descentralitzada i basada en fonts d'energia renovables de l'Àfrica sudsahariana rural, sobretot en el context concret de Ghana. Per això, es parteix de l'anàlisi de les 5 comunitats objectiu per detectar aquells punts comuns a partir dels quals s'acaba obtenint una solució concreta per cada comunitat, d'acord a les seves necessitats i als seus recursos, perseguint elaborar una proposta replicable.

Després de l'anàlisi dels documents creats a partir de les dades recollides en la visita de les comunitats de maig de 2013, es va poder establir un diàleg amb les persones encarregades en aquell moment (de cadascun dels membres del partenariat amb l'UPC) del projecte i coordinar una segona visita, durant el novembre del mateix any, a les comunitats amb la finalitat de recollir aquelles dades que no sabien pogut recollir durant la primera visita (per omissió o per no disposar dels equips adients, en el cas de l'obtenció de les coordenades GPS de les infraestructures) i conèixer les mateixes comunitats *in situ*. Gràcies a aquella segona visita, es considera que s'ha pogut desenvolupar una proposta tècnica més contextualitzada a les necessitats reals de les 5 comunitats beneficiàries.

Un cop feta la proposta, es volen destacar un parell de conclusions. La primera conclusió clara que se n'extreu és que l'ús de la gasificació de residus provinents del cultiu d'aliments és tècnicament viable en aquelles comunitats on hi hagi la costum de cultivar blat de moro i fruits amb closca com el cacauet. Malgrat això, s'ha constatat que la tecnologia de la gasificació a petita escala té, a dia d'avui, un ventall molt limitat de residus agrícoles aptes per a la seva alimentació i, per tant, un important potencial energètic no és aprofitable encara amb aquesta tecnologia. A això cal afegir-li que, sobretot en el cas del gasificador escollit, no hi ha pràcticament bibliografia o experiències de la gasificació de residus d'alguns cultius específics de la zona.

Una àmplia varietat de residus aprofitables permetria, a més a més d'un aprofitament major dels recursos, millorar la seguretat energètica, doncs es pal·liarien els riscos estocàstics de dependre d'un sola collita. És en aquest sentit que es consideraria positiu estudiar la possibilitat de desenvolupar propostes basades en la tecnologia de la digestió anaeròbica, doncs sovint aquells residus no utilitzables per a la seva gasificació sí que ho són per a la seva digestió. Fins i tot, es considera positiu estudiar la hibridació de les dues opcions.

Una segona conclusió és que els gasificadors Power Pallet presenten varies limitacions, més enllà de la limitada gamma de biomassa útil. La primera limitació és la seva potència màxima, de 10kW o 20kW, doncs equips de potència superior permetrien aprofitar el total de la biomassa de la comunitat en els casos de Seneso i Boniafo (en la proposta realitzada, es pot aprofitar menys del 50%) a causa de les limitacions horàries de funcionament; permetrien jugar amb l'emmagatzematge en bateries produint a més potència en unes hores determinades i alliberar després l'energia, com el sistema que utilitzen els sistemes fotovoltaics; i permetrien reduir les hores de funcionament dels grups gasificador-generador i augmentar l'esperança de vida dels motors havent-los de desplaçar més tard.

La segona limitació és la dependència que presenten ja que, per exemple, cada 4-6 hores de funcionament (en funció del consum) cal alimentar la tremuja del gasificador, cal buidar manualment els ciclons i netejar els filtres i cal que un operari engegui els grups. Això implica que hi hagi d'haver una persona operària durant tot el dia pendent dels nivells de càrrega de les bateries i que aquesta persona hagi de

tenir uns coneixements alts del funcionament de la tecnologia i de la màquina. En aquest sentit, durant l'elaboració de la proposta, la mateixa empresa AllPowerLabs ha llençat al mercat un nou model de grup gasificador-generator més automatitzat i de major potència que podria pal·liar aquestes limitacions: el 25kW EU Power Pallet. A més a més, aquest gasificador incorpora l'opció de servir calor al mateix temps (cogeneració). Actualment, però, la seva adquisició a Europa fora d'Itàlia no serà possible fins el febrer de 2015 i, abans de considerar aquest model en la proposta, caldria estudiar la seva adequació al context on es desenvolupa el projecte.

A més a més, durant el desenvolupament de la proposta, s'han detectat un conjunt d'aspectes que es proposa considerar amb l'objectiu de refinar els resultats obtinguts abans de desenvolupar la proposta d'enginyeria tècnica de detall:

- Caldria fer una estimació del cost de la biomassa doncs els valors utilitzats en aquesta proposta s'han obtingut de bibliografia. Es recomana que aquesta estimació la faci una de les entitats ghaneses del partenariat del projecte pel seu coneixement de la realitat i tenir els mecanismes per poder realitzar un càlcul adequat.
- De la mateix manera que es varen agafar mostres per al càlcul de les seves propietats fisicoquímiques, es proposa agafar més mostres (amb major quantitat) de tots els residus disponibles a les comunitats i alimentar un gasificador per estudiar-ne el seu comportament i, en conseqüència, la seva utilitat.
- Es recomana estudiar la possibilitat d'incorporar a la proposta un grup electrogen de suport que s'utilitzaria en cas d'averia greu del gasificador o d'algun altre equip crític del sistema de generació.
- Es proposa crear un calendari anual de disponibilitat de biomassa —on es tingui en consideració els temps de collita, el temps de manipulació i assecat de la biomassa post collita, la possible degradació de la biomassa amb el pas del temps, etcètera— per poder efectuar una distribució optimitzada de la disponibilitat de la biomassa mes a mes, fins i tot, setmana a setmana.
- Caldria buscar l'existència, en el mercat ghanès, d'un motor de gas de característiques semblants als utilitzats als grups gasificador-generator Power Pallet per la substitució del motor al final de la seva vida útil i considerar el seu cost en el moment de calcular la tarifa elèctrica (GH¢/kWh). En el cas, que no es comercialitzés un motor semblant, caldria estudiar el mercat internacional.

Finalment, es vol destacar el valor afegit del projecte en el seu conjunt, no el concret de la proposta tècnica presentada. Múltiples són les raons per impulsar la generació descentralitzada a partir de residus de biomassa i distribució en micro-xarxes: pel seu menor impacte mediambiental amb un cicle 0 d'emissions de gasos d'efecte hivernacle i una menor pressió sobre les masses boscoses; i pel seu impacte social ja que el centre d'aquests projectes són les persones, ajuden a enfortir la població rural i l'agricultura i, per últim, els aliments són aliments i no vectors energètics, com en el cas dels biocombustibles.

AGRAÏMENTS

No ha estat fàcil, per no dir gens fàcil, arribar a escriure aquestes últimes línies després d'haver-ne escrit més de cinc mil cinc-cents fins aquest moment. I aquestes no haguessin estat escrites si no fos per les persones que directament o indirectament formen part d'aquest TFM, doncs el seu treball humà amb mi ha influenciat i molt en això que estàs llegint (perdó per tutejar, però ja se sap què passa quan es parla des de dins).

GRÀCIES...

...Pol Arranz per la paciència, per les oportunitats, per no desesperar quan algú altre ja ho hagués fet, per voler comptar amb mi a l'inici de l'aventura, per respectar la meva decisió de tornar abans de Ghana.

...Enric Velo per acompanyar-me un altre cop en un treball final i, a més, relacionat amb la gasificació.

...Kwesi for your welcome. My experience in Ghana had been quite different without your comradeship.

...a l'equip docent del Màster per voler formar i educar en àmbits sovint oblidats en les guies docents de les carreres tècniques i per contribuir en la lluita per la dignitat de les persones.

...Eva Vidal per la proximitat mostrada a tots els i les alumnes del Màster, sobretot la que m'has mostrat quan he defallit. Per lluitar.

...Marta, Angélica, Eduard, Jan, Steven, Enric, Álvaro i Paulo per fer-me sentir com a casa, per ser referents, per acollir-me, per il·lusionar-me [...], per fer que em senti petit al vostre costat.

...Paulo per molts motius, però sobretot per haver estat allà.

...als meus amics i les meves amigues per entendre la meva clausura i la manca de cafès compartits durant els últims dos mesos. Per preocupar-vos per mi.

...Anna per donar-me un cop de mà amb les escales a l'AutoCAD.

...Helena per la correcció ortogràfica de l'*abstract*.

...Àngel per la flexibilitat que m'has donat i que m'ha permès arribar a entregar aquest treball. Per la comprensió mostrada en tot moment.

...Carles per enviar-me a Paraguai i, sabent-ho, transformar la meva vida. Per la cita de l'inici.

...a la meva família per educar-me i estimar-me així com sóc.

...Paula per complicar-me la vida, per donar-li sentit a la vida, per transformar-me la vida.

...a tu per dedicar part del teu temps a llegir aquest treball.

...Ghana per mostrar-me tantes coses.

...a totes aquelles persones vulnerades en els seus Drets i en la seva dignitat com a persona humana, per lluitar dia a dia, minut a minut, segon a segon.

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- Adaramola, M. S., Agelin-Chaab, M., & Paul, S. S. (2014). Analysis of hibrid energy systems for application in southern Ghana. *Energy Conversion and Management*, 88, 284-295.
- All Power Labs. (2012). PowerPallet Operation Manuals_rev9.
- All Power Labs. (10 / 2014). *FAQ - All Power Labs*. Recollit de <http://www.allpowerlabs.com/products/faq>
- All Power Labs. (11 / 2014). *Table of Feedstocks*. Recollit de <http://www.allpowerlabs.com/products/appropriate-fuels>
- Bank of Ghana. (5 / novembre / 2014). Recollit de <http://www.bog.gov.gh/>
- Dasappa, S. (2011). Potential of biomass energy for electricity generation in sub-Saharan Africa. *Energy for Sustainable Development*, 15, 203-203.
- Depoorter, V., Olivella Rosell, P., Sudrià Andreu, A., Giral Guardia, J., & Sumper, A. (2014). Simulation of a small-scale electricity generation system from biomass gasification. *Renewable Energy and Power Quality Journal (RE&PQJ)*, No. 12.
- Duku, M. H., Gu, S., & Haga, E. B. (2011). A comprehensive review of biomass resources and biofuels potential in Ghana. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 404-415.
- FAO. (28 / Octubre / 2014). Recollit de Dendroenergía: <http://www.fao.org/forestry/energy/es/>
- Genser Energy. (11 / 2014). *90MW Power Generation Plant (Chirano-Ghana)*. Recollit de <http://www.genserenergy.com/chirano-ghana.php>
- Ghana Statistical Service. (2013). *2010 Population and Housing Census*.
- HOMER Energy. (11 / 2014). *Knowledgebase - Homer Energy*. Recollit de <http://support.homerenergy.com/index.php?/Knowledgebase/List>
- ICAEN. (2010). Els usos energètics de la biomassa forestal. . Institut Català de l'Energia, Barcelona, Setembre 2010. *Revista Cultura Energètica* núm. 174.
- IDAE. (Octubre / 2007). *Energía de la biomasa. Manuales de energías renovables*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía .
- IEA. (2014). *Africa Energy Outlook: A focus on energy prospects in Sub-Saharan Africa*. Paris: International Energy Agency.
- IEA. (Octubre / 2014). *Ghana: Balances for 2012*. Recollit de International Energy Agency: <http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=GHANA&product=Balances&year=2012>
- Kankam, S., & Boon, E. K. (2009). Energy delivery and utilization for rural development: Lessons from Northern Ghana. *Energy for Sustainable Development*, 13, 212-218.
- Kemausuor, F., Kamp, A., Thomsen, S. T., Bensah, E. C., & Østergård, H. (2014). Assessment of biomass residue availability and bioenergy yields in Ghana. *Resources, Conservation and Recycling*, 86, 28-37.
- Kemausuor, F., Obeng, G. Y., Brew-Hammond, A., & Duker, A. (2011). A review of trends, policies and plans for increasing energy access in Ghana. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 5143-5154.
- Kirubi, C., Jacobson, A., Kammen, D. M., & Mills, A. (2009). Community-Based Electric Micro-Grids Can Contribute to Rural Development: Evidence from Kenya. *World Development*, Vol. 37, No. 7, 1208-1221.

- KITE, UPC and TEC-KNUST. (2011).** *EREF Concept Note and Full Project Proposal*. Accra, Ghana: Kumasi Institute of Technology, Energy and Enviroment (KITE).
- KITE, UPC and TEC-KNUST. (2013).** *Feasibility Study and Detailed Engineering of Small Scale Biomass Gasification Mini Grids for Electrical Services in Rural Communities in Ghana. Feasibility Report*. Accra.
- Lambert, T., Gilman, P., & Lilienthal, P. (2006).** Micropower System Modeling with HOMER. A F. Farret, & M. Simões, *Integration of Alternative Sources of Energy* (p. Chapter 15).
- Latshaw, W. L., & Miller, E. C. (1924).** Elemental Composition of the corn plant. *Journal of Agricultural Research*, Vol. XXVII, No. 11, 845-859.
- Mahapatra, S., & Dasappa, S. (2012).** Rural electrification: Optimising the choice between decentralised renewable energy sources and grid extension. *Energy for Sustainable Development*, 16(2), 146-154.
- Mensah, G. S., Kemausuor, F., & Brew-Hammond, A. (2014).** Energy access indicators and trends in Ghana. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 317-323.
- MoEP. (September / 2013).** Design, Supply, Installation, Operations And Management Of Mini-grid Electrification For Selected Island Communities In Ghana. Ghana.
- Mohammed, Y., Mokhtar, A., Bashir, N., & Saidur, R. (2013).** An overview of agricultural biomass for decentralized rural energy in Ghana. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 15-22.
- NASA. (15 / April / 2014).** *Surface meteorology and Solar Energy*. Recollit de Atmospheric Science Data Center: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi?skip@larc.nasa.gov>
- NREL. (2003).** *HOMER Getting Started Guide*. National Renewable Energy Laboratory.
- Pasternak, A. D. (2000).** *Global Energy Futures and Human Development: A Framework For Analysis*. Livermore, CA: US Department of Energy Report UCRL-ID-140773, Lawrence Livermore National Laboratory.
- Ramamurthi, P. (July / 2013).** *Prospects of Second generation production of bioenergy from rice residues in Ghana*. Lisboa: CERENA/DEQ, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.
- Reed, T., & Das, A. (1998).** Handbook of Biomass Gasifier Systems. Solar Energy Research Institute.
- UNDP. (2012).** *Integrating Energy Access and Employment Creation to Accelerate Progress on the MDGs in Sub-Saharan Africa*. New York (EUA): United Nations Development Programme.
- Universitat Politècnica de Catalunya. (2013).** Tutorial HOMER - A7: Prediseño de una instalación híbrida - Enginyeria i tecnologies energètiques - Màster en Tecnologia per al Desenvolupament Humà i la Cooperació. Barcelona.
- Valter Francescato, E. A., & Zuccoli Bergomi, L. (2008).** Wood Fuels Handbook. Legnaro, Italy: AIEL - Italian Agriforestry Energy Association.
- Velo, D. E. (2008).** Módulo 4: Bases termoquímicas: combustión, gasificación y pirólisis. *Asignatura de Doctorado: Procesos termoquímicos de aprovechamiento de la biomasa*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.

ANNEX A. HIPÒTESIS UTILITZADES EN L'ESTIMACIÓ DEL COST ENERGÈTIC ACTUAL A LES COMUNITATS BENEFICIÀRIES

Box 1-1: Key assumptions for estimating current energy use

Telecommunication:

- Mobile phones have chargers rated at 230.0 V, 75 mA.
- Each phone is charged for 2 hours per charging session.
- Phones are charged once in every 3 days, making a total of 10 charging days in 1 month.
- Each household has two mobile phones
- Power factor = 0.8

Lighting:

- Two (2) batteries are used in each lamp
- Battery pairs are changed after operating for one (1) week
- Lamps are used 8 hours daily for 365 days in a year.

Powering radio sets:

- Two (2) batteries are used in each radio set
- Battery pairs are changed after operating for one (1) week
- Radio sets are used 12 hours daily for 365 days in a year.

Figura A.1. Hipòtesis assumides per fer una estimació dels consums energètics actuals de les llars de les 5 comunitats beneficiàries.

Font: KITE, UPC, TEC-KNUST. Feasibility Report, August, 2013

ANNEX B. PREVISIÓ DEL CREIXEMENT DEL NOMBRE DE LLARS I DE L'INCREMENT DEL NOMBRE DE SERVEIS SOCIO-ECONÒMICS A BONIAFO, BOMPA, JAMAN NKWANTA I NAKPAYE

BONIAFO

Taula B.1. Creixement estimat del nombre de llars per Boniafo

Perfil de càrrega	Nombre de llars		
	Escenari base	Escenari 1	Escenari 2
Molt baix (VL)	5	7	5
Baix (L)	16	20	17
Mig (M)	22	28	25
Alt (H)	5	6	13
TOTAL	48	60	60

Font: TTA. ELECTRICITY DEMAND FORECAST analysis template v4.0, 2011

Taula B.2. Increment potencial estimat d'activitats socioeconòmiques a Boniafo

Activitats socials, comunitàries i comercials	Abans de l'electrificació (situació actual)	Després de l'electrificació (any 2023)
Escoles	1	2
Centres de salut	0	1
Confecció de roba	0	2
Mini-botigues	4	6
Bars	2	4
Barberies	0	2
Perruqueries	0	2
Subministrament d'aigua bombejat	0	1
Molí	0	1

Font: KITE, UPC, TEC-KNUST. Feasibility Report, August, 2013

BOMPA

Taula B.3. Creixement estimat del nombre de llars per Bompa

Perfil de càrrega	Nombre de llars		
	Escenari base	Escenari 1	Escenari 2
Molt baix (VL)	11	13	11
Baix (L)	32	40	35
Mig (M)	45	56	50
Alt (H)	10	13	27
TOTAL	98	123	123

Font: TTA. ELECTRICITY DEMAND FORECAST analysis template v4.0, 2011

Taula B.4. Increment potencial estimat d'activitats socioeconòmiques a Bompa

Activitats socials, comunitàries i comercials	Abans de l'electrificació (situació actual)	Després de l'electrificació (any 2023)
Escoles	1	2
Centres de salut	0	1
Confecció de roba	0	1
Mini-botigues	3	5
Bars	2	4
Barberies	0	2
Perruqueries	0	2
Subministrament d'aigua bombejat	0	1
Molí	1	1

Font: KITE, UPC, TEC-KNUST. Feasibility Report, August, 2013

JAMAN NKWANTA

Taula B.5. Creixement estimat del nombre de llars per Jaman Nkwanta

Perfil de càrrega	Nombre de llars		
	Escenari base	Escenari 1	Escenari 2
Molt baix (VL)	5	6	5
Baix (L)	14	18	16
Mig (M)	19	26	23
Alt (H)	4	6	12
TOTAL	42	56	56

Font: TTA. ELECTRICITY DEMAND FORECAST analysis template v4.0, 2011

Taula B.6. Increment potencial estimat d'activitats socioeconòmiques a Jaman Nkwanta

Activitats socials, comunitàries i comercials	Abans de l'electrificació (situació actual)	Després de l'electrificació (any 2023)
Escoles	1	2
Centres de salut	0	1
Confecció de roba	0	2
Mini-botigues	3	5
Bars	2	4
Barberies	1	3
Perruqueries	0	2
Subministrament d'aigua bombejat	0	1
Molí	2	2

Font: KITE, UPC, TEC-KNUST. Feasibility Report, August, 2013

NAKPAYE

Taula B.7. Creixement estimat del nombre de llars per Nakpaye

Perfil de càrrega	Nombre de llars		
	Escenari base	Escenari 1	Escenari 2
Molt baix (VL)	3	3	3
Baix (L)	8	10	9
Mig (M)	11	15	13
Alt (H)	3	3	7
TOTAL	24	32	32

Font: TTA. ELECTRICITY DEMAND FORECAST analysis template v4.0, 2011

Taula B.8. Increment potencial estimat d'activitats socioeconòmiques a Nakpaye

Activitats socials, comunitàries i comercials	Abans de l'electrificació (situació actual)	Després de l'electrificació (any 2023)
Escoles	1	2
Centres de salut	0	1
Confecció de roba	0	2
Mini-botigues	3	5
Bars	1	2
Barberies	1	2
Perruqueries	1	2
Subministrament d'aigua bombejat	0	1
Molí	1	1

Font: KITE, UPC, TEC-KNUST. Feasibility Report, August, 2013

ANNEX C. DEMANDA ELÈCTRICA SEGREGADA DE BONIAFO, BOMPA, JAMAN NKWANTA I NAKPAYE

BONIAFO

Taula C.1. Increment estimat de la demanda d'energia i potència elèctrica a Boniafo

			Escenari base	Escenari 1	Escenari 2
Demanda elèctrica	Residencial kWh/mes	VL	26	33	26
		L	275	345	299
		M	1.100	1.380	1.236
		H	380	477	989
		Total	1.781	2.235	2.550
	Comunitari kWh/mes		1.615	1.849	1.927
	Comercial kWh/mes		84	72	624
	Industrial kWh/mes		0	0	484
	Total kWh/mes		3.479	4.156	5.586
	Total kWh/dia		114	137	184
Demanda de potència	Potència pic kW		12,8	15,6	17,6

Font: TTA. ELECTRICITY DEMAND FORECAST analysis template v4.0, 2011

BOMPA

Taula C.2. Increment estimat de la demanda d'energia i potència elèctrica a Bompa

			Escenari base	Escenari 1	Escenari 2
Demanda elèctrica	Residencial kWh/mes	VL	53	67	54
		L	561	705	611
		M	2.245	2.818	2.523
		H	775	973	2.020
		Total	3.635	4.564	5.207
	Comunitari kWh/mes		1.536	1.771	1.927
	Comercial kWh/mes		84	84	515
	Industrial kWh/mes		227	227	493
	Total kWh/mes		5.482	6.644	8.143
	Total kWh/dia		180	218	268
Demanda de potència	Potència pic kW		21,3	26,3	29,8

Font: TTA. ELECTRICITY DEMAND FORECAST analysis template v4.0, 2011

JAMAN NKWANTA

Taula C.3. Increment estimat de la demanda d'energia i potència elèctrica a Jaman Nkwanta

			Escenari base	Escenari 1	Escenari 2
Demanda elèctrica	Residencial kWh/mes	VL	46	61	49
		L	481	640	555
		M	1.924	2.561	2.293
		H	664	884	1.836
		Total	3.116	4.147	1.836
	Comunitari kWh/mes		1.536	1.771	1.927
	Comercial kWh/mes		86	84	515
	Industrial kWh/mes		454	454	493
	Total kWh/mes		5.191	6.455	7.668
	Total kWh/dia		171	212	252
Demanda de potència	Potència pic kW		18,9	24,3	27,6

Font: TTA. ELECTRICITY DEMAND FORECAST analysis template v4.0, 2011

NAKPAYE

Taula C.4. Increment estimat de la demanda d'energia i potència elèctrica a Nakpaye

Escenari base			Escenari 1	Escenari 2	
Demanda elèctrica	Residencial kWh/mes	VL	13	17	14
		L	137	183	159
		M	550	732	655
		H	190	253	524
		Total	890	1.185	1.352
	Comunitari kWh/mes		1.536	1.718	1.927
	Comercial kWh/mes		86	80	518
	Industrial kWh/mes		454	454	947
	Total kWh/mes		2.966	3.436	4.745
	Total kWh/dia		98	113	156
Demanda de potència	Potència pic kW	8,5	10,5	12,0	

Font: TTA. ELECTRICITY DEMAND FORECAST analysis template v4.0, 2011

ANNEX D. PLÀNOLS DELS RECURSOS SOLAR I EÒLIC DE GHANA

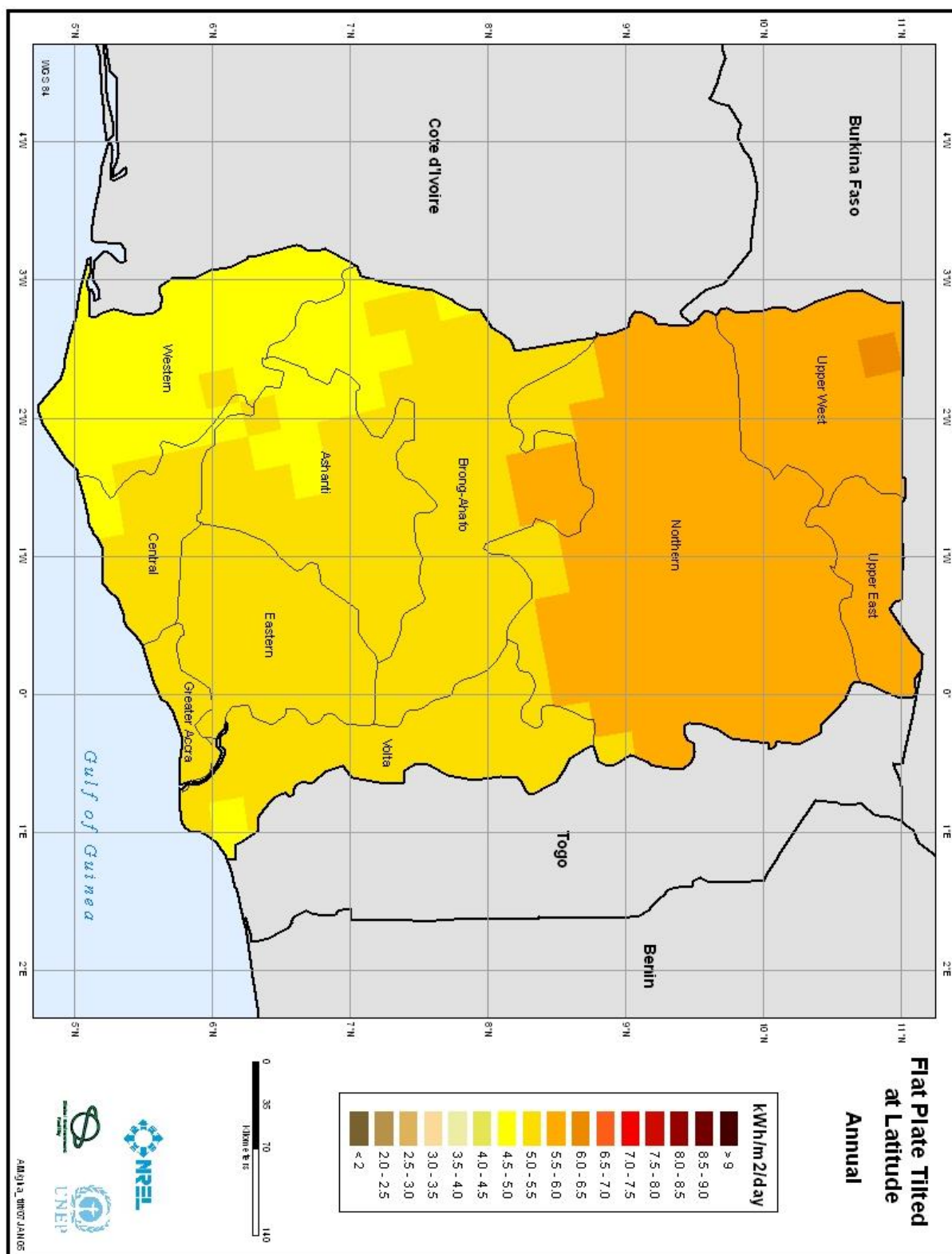


Figura D.1. Ghana - Annual Tilted at Latitude Solar Radiation

Font: National Renewable Energy Laboratory

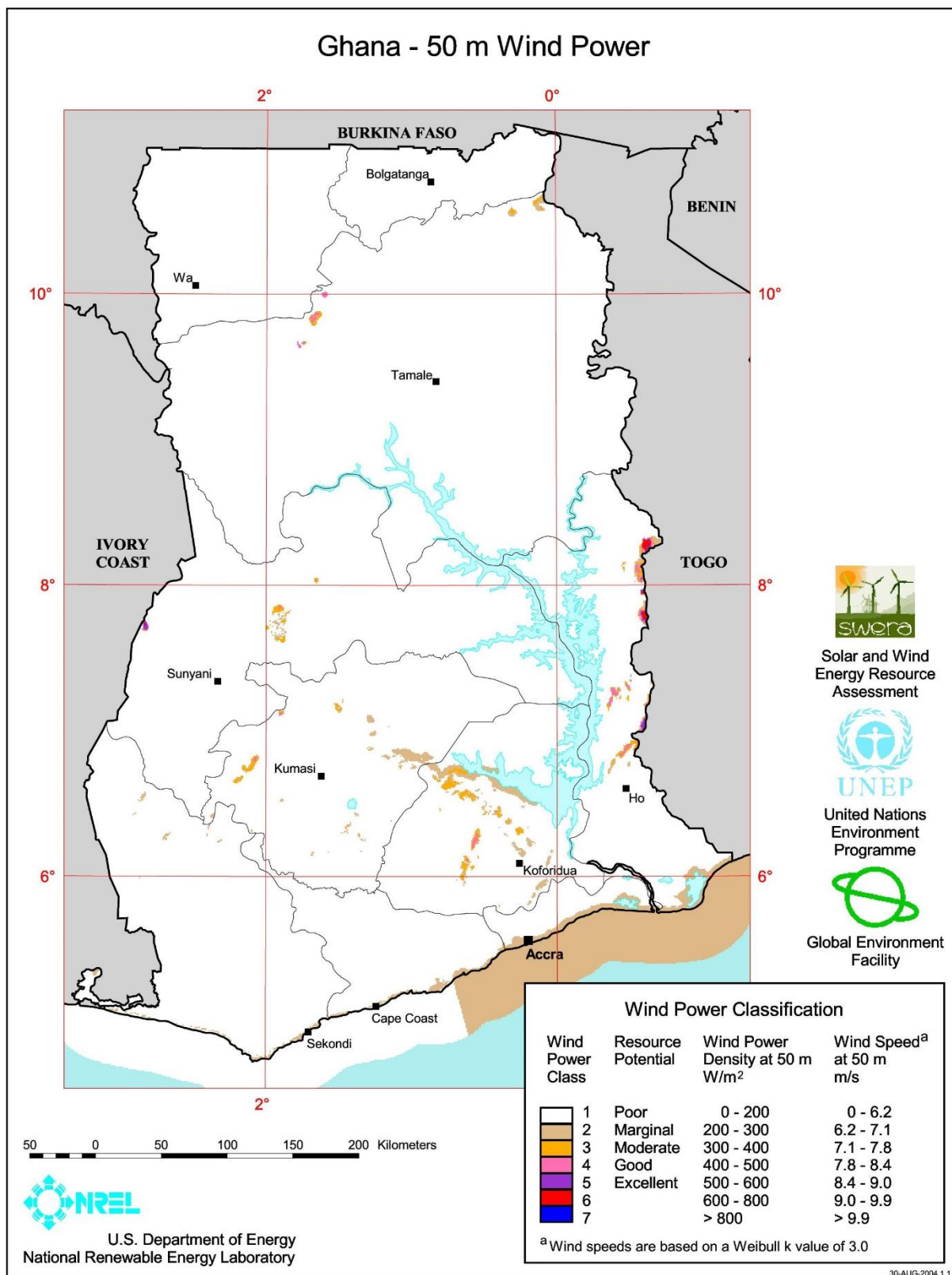


Figura D.2. Ghana - 50m Wind Power

Font: National Renewable Energy Laboratory

ANNEX E. CARACTERÍSTIQUES I DISPONIBILITAT DE BIOMASSA A LES COMUNITATS BENEFICIÀRIES. ESTIMACIÓ DE LA PRODUCCIÓ ELÈCTRICA POTENCIAL AMB GASIFICACIÓ.

CARACTERITZACIÓ DELS RESIDUS AGRÍCOLES ANALITZATS

Taula E.1. Característiques dels diferents cultius i de llurs residus

COLLITES	Densitat (kg/m ³)	Tipus de residu	Rati de residu per volum de collita (kg/kg)	Contingut d'aigua (% en pes)	PCI del residu (MJ/kg)
Blat de moro	720	Canya	1,5	15	18,15
		Panotxa	0,5	7,53	17,49
		Pallofa	0,6	11,11	18,10
Fesols	750	Palla	1,5	15	15,96
		Esclòfia	0,4	15	12,38
Cacauets	640	Palla	2,26	15	17,58
		Esclòfia	0,5	8,2	15,87
Arròs	850	Palla	1,5	12,71	17,42
		Esclòfia	0,25	12,37	14,99
Mandioca	-	Tija	0,5	15	17,99
Nyam	640	Palla	0,5	15	16,04
Mill	630	Palla	2	15	17,12
Sorgo	720	Palla	1,5	15	18,15

Font: KITE, UPC, TEC-KNUST. Feasibility Report, August, 2013

PRODUCCIÓ ELÈCTRICA ESTIMADA DE LES COMUNITATS

Taula E.2. Producció elèctrica estimada mitjana per dia a Seneso a partir de la seva biomassa

Tipus de residu	Biomassa disponible a l'any a SENESO (kg)	Biomassa disponible mitja per dia a SENESO (kg)	Producció elèctrica estimada de mitjana per dia a SENESO (kWh _e) amb un consum mig del gasificador ...	
			1,5kg/kWh _e	2kg/kWh _e
Canya de blat de moro	154.329,3	422,8	282	211
Panotxa de blat de moro	51.443,1	140,9	94	70
Pellofa de blat de moro	61.731,8	169,1	113	85
Palla de fesols	61.731,9	169,1	113	85
Esclòfia de fesols	11.989,8	32,8	22	16
Palla de cacauet	39.810,6	109,1	73	55
Esclòfia de cacauet	8.807,4	24,1	16	12
Palla d'arròs	2.884,5	7,9	5	4
Esclòfia d'arròs	480,6	1,3	1	1
Tija de mandioca	4.222,8	11,6	8	6
Palla de nyam	8.041,5	22,0	15	11
TOTAL	405.473,3	1.110,9	740,6	555,4

Font: Elaboració pròpia

Taula E.3. Producció elèctrica estimada mitjana per dia a Boniafo a partir de la seva biomassa

Tipus de residu	Biomassa disponible a l'any a BONIAFO (kg)	Biomassa disponible mitja per dia a BONIAFO (kg)	Producció elèctrica estimada de mitjana per dia a BONIAFO (kWhe) amb un consum mig del gasificador ...	
			1,5kg/kWhe	2kg/kWhe
Canya de blat de moro	235.747,80	645,9	431	323
Panotxa de blat de moro	78.582,60	215,3	144	108
Pellofa de blat de moro	94.299,30	258,4	172	129
Palla de fesols	1.841,40	5,0	3	3
Esclòfia de fesols	491,4	1,3	1	1
Palla de cacauet	35.519,40	97,3	65	49
Esclòfia de cacauet	7.857,90	21,5	14	11
Palla d'arròs	9.045,00	24,8	17	12
Esclòfia d'arròs	1.507,50	4,1	3	2
Tija de mandioca	25.670,70	70,3	47	35
Palla de nyam	36.639,90	100,4	67	50
Palla de mill	-	-	-	-
Palla de sorgo	-	-	-	-
TOTAL	527.202,9	1.444,4	962,9	722,2

Font: Elaboració pròpia

Taula E.4. Producció elèctrica estimada mitjana per dia a Bompa a partir de la seva biomassa

Tipus de residu	Biomassa disponible a l'any a BOMPA (kg)	Biomassa disponible mitja per dia a BOMPA (kg)	Producció elèctrica estimada de mitjana per dia a BOMPA (kWhe) amb un consum mig del gasificador ...	
			1,5kg/kWhe	2kg/kWhe
Canya de blat de moro	83.605,5	229,1	153	115
Panotxa de blat de moro	27.868,5	76,4	51	38
Pellofa de blat de moro	33.442,2	91,6	61	46
Palla de fesols	22.167,9	60,7	40	30
Esclòfia de fesols	5.911,2	16,2	11	8
Palla de cacauet	26.465,4	72,5	48	36
Esclòfia de cacauet	5.855,4	16,0	11	8
Palla d'arròs	106.955,1	293,0	195	147
Esclòfia d'arròs	17.826,3	48,8	33	24
Tija de mandioca	5.675,4	15,5	10	8
Palla de nyam	93.388,5	255,9	171	128
Palla de mill	709,2	1,9	1	1
Palla de sorgo	-	-	-	-
TOTAL	429.870,6	1.177,7	785,2	588,9

Font: Elaboració pròpia

Taula E.5. Producció elèctrica estimada mitjana per dia a Jaman Nkwanta a partir de la seva biomassa

Tipus de residu	Biomassa disponible a l'any a JAMAN NK. (kg)	Biomassa disponible mitja per dia a JAMAN NK. (kg)	Producció elèctrica estimada de mitjana per dia a JAMAN NK. (kWh _e) amb un consum mig del gasificador ...	
			1,5kg/kWh _e	2kg/kWh _e
Canya de blat de moro	61.119,0	167,4	112	84
Panotxa de blat de moro	20.373,3	55,8	37	28
Pellofa de blat de moro	24.447,6	67,0	45	33
Palla de fesols	26.265,6	72,0	48	36
Esclòfia de fesols	7.003,8	19,2	13	10
Palla de cacauet	16.884,9	46,3	31	23
Esclòfia de cacauet	3.735,9	10,2	7	5
Palla d'arròs	5.176,8	14,2	9	7
Esclòfia d'arròs	863,1	2,4	2	1
Tija de mandioca	17.865,9	48,9	33	24
Palla de nyam	200.454,3	549,2	366	275
Palla de mill	5.436,0	14,9	10	7
Palla de sorgo	-	-	-	-
TOTAL	389.626,2	1.067,5	711,6	533,7

Font: Elaboració pròpia

Taula E.6. Producció elèctrica estimada mitjana per dia a Nakpaye a partir de la seva biomassa

Tipus de residu	Biomassa disponible a l'any a NAKPAYE (kg)	Biomassa disponible mitja per dia a NAKPAYE (kg)	Producció elèctrica estimada de mitjana per dia a NAKPAYE (kWh _e) amb un consum mig del gasificador ...	
			1,5kg/kWh _e	2kg/kWh _e
Canya de blat de moro	36.305,1	99,5	66	50
Panotxa de blat de moro	12.101,4	33,2	22	17
Pellofa de blat de moro	14.522,4	39,8	27	20
Palla de fesols	23.083,2	63,2	42	32
Esclòfia de fesols	6.156,0	16,9	11	8
Palla de cacauet	11.366,1	31,1	21	16
Esclòfia de cacauet	2.514,6	6,9	5	3
Palla d'arròs	17.255,7	47,3	32	24
Esclòfia d'arròs	2.875,5	7,9	5	4
Tija de mandioca	18.161,1	49,8	33	25
Palla de nyam	37.932,3	103,9	69	52
Palla de mill	6.050,7	16,6	11	8
Palla de sorgo	1.886,4	5,2	3	3
TOTAL	190.210,5	521,1	347,4	260,6

Font: Elaboració pròpia

ANNEX F. UBICACIÓ DELS POSSIBLES EMPLAÇAMENTS ON ESTABLIR ELS PUNTS DE GENERACIÓ

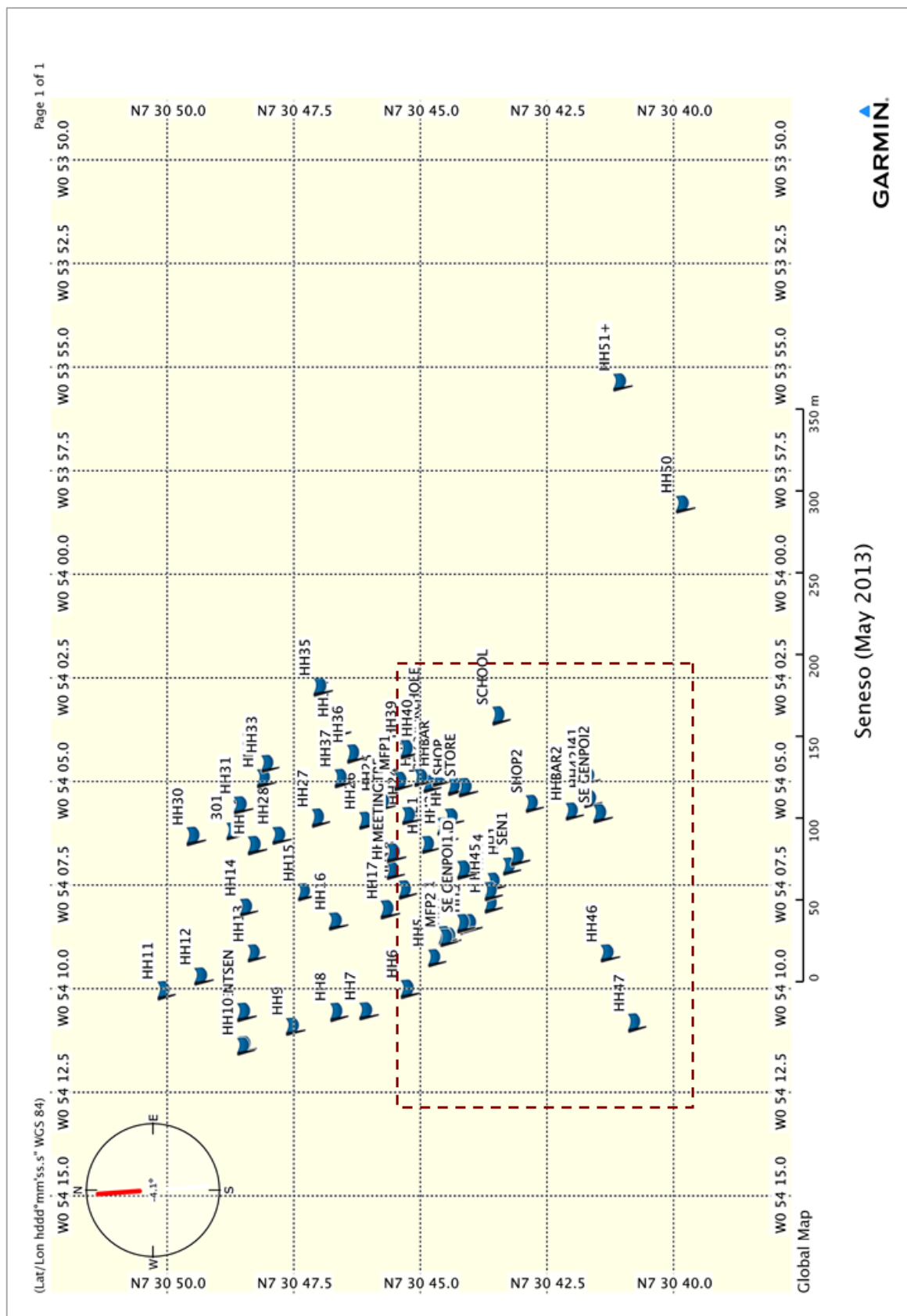


Figura F.1. Coordenades GPS de les construccions i punts destacats de Seneso

Font: Elaboració pròpia amb l'ajuda del software Garmin BaseCamp

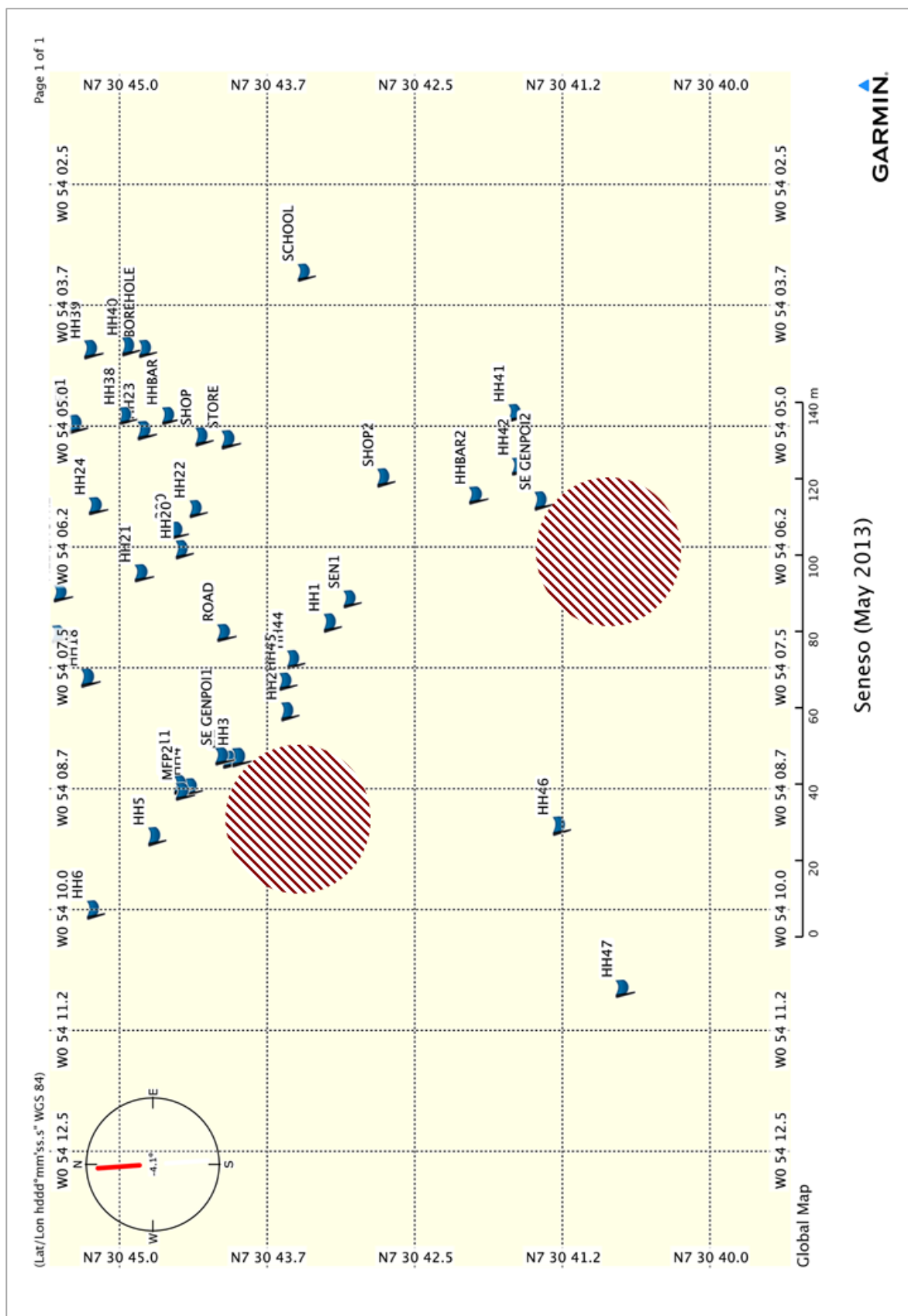


Figura F.2. Àrees aproximades on es poden ubicar les infraestructures del sistema de generació i control de Seneso

Font: Elaboració pròpia amb l'ajuda del software Garmin BaseCamp

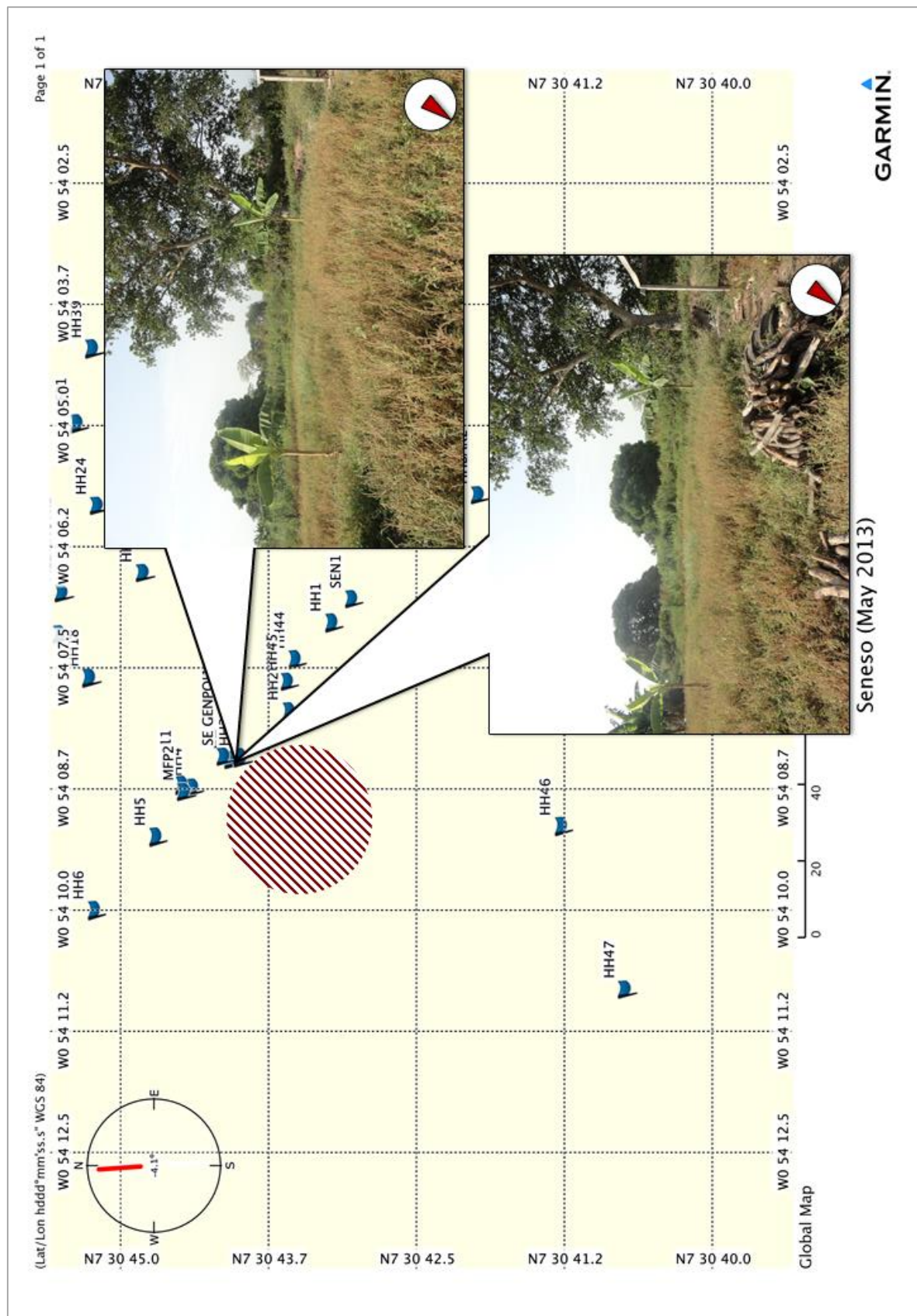


Figura F.3. Fotografies preses des dels punts on es poden ubicar les infraestructures del sistema de generació i control de Seneso

Font: Elaboració pròpia amb l'ajuda del software Garmin BaseCamp

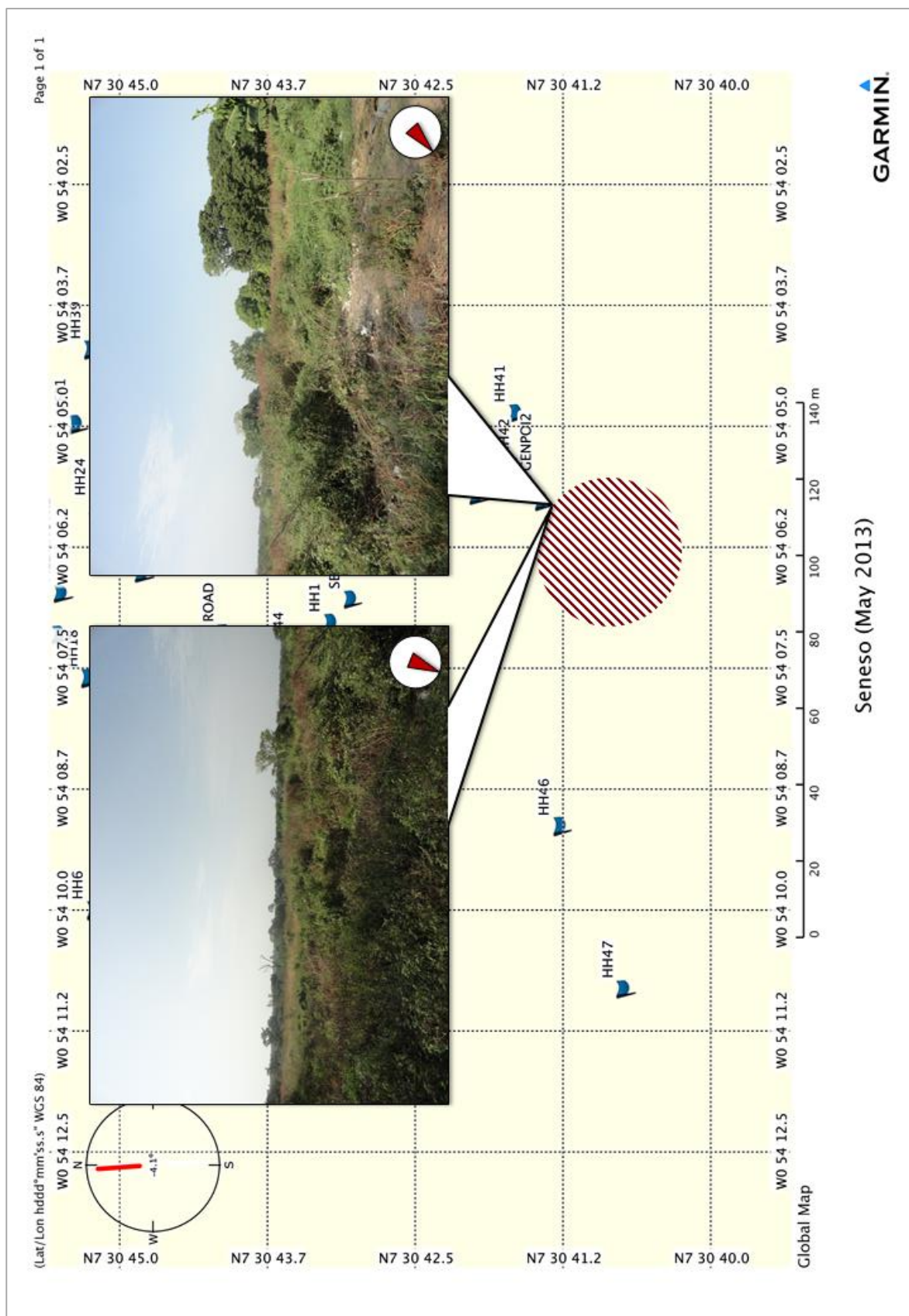
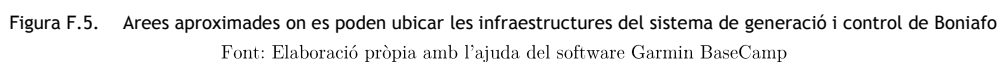
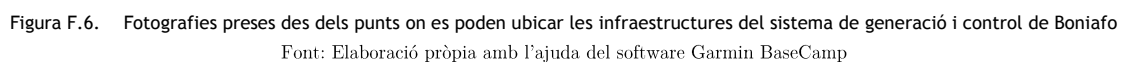


Figura F.4. Fotografies preses des dels punts on es poden ubicar les infraestructures del sistema de generació i control de Seneso

Font: Elaboració pròpia amb l'ajuda del software Garmin BaseCamp



Font: Elaboració pròpia amb l'ajuda del software Garmin BaseCamp



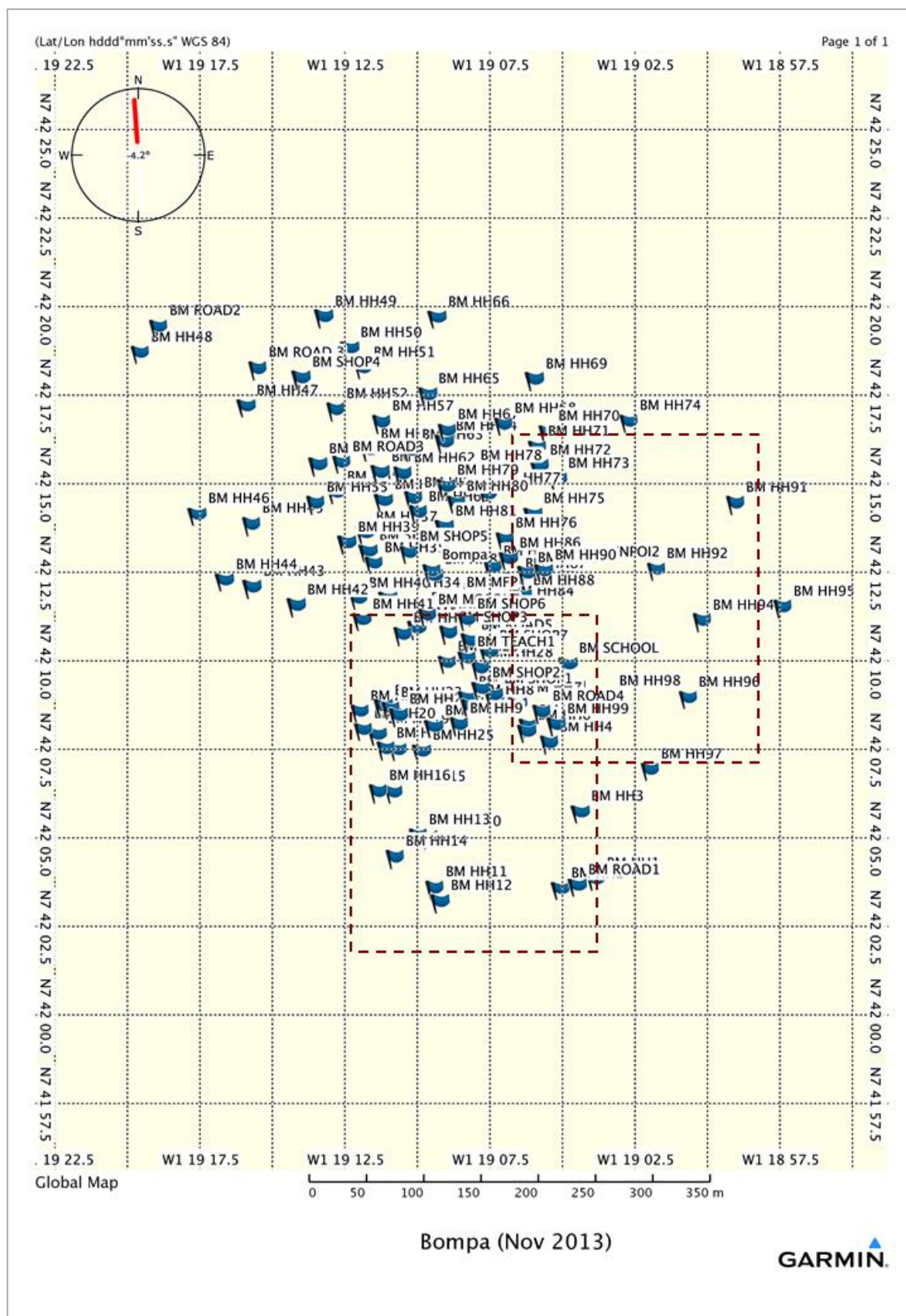


Figura F.7. Coordenades GPS de les construccions i punts destacats de Boma

Font: Elaboració pròpia amb l'ajuda del software Garmin BaseCamp

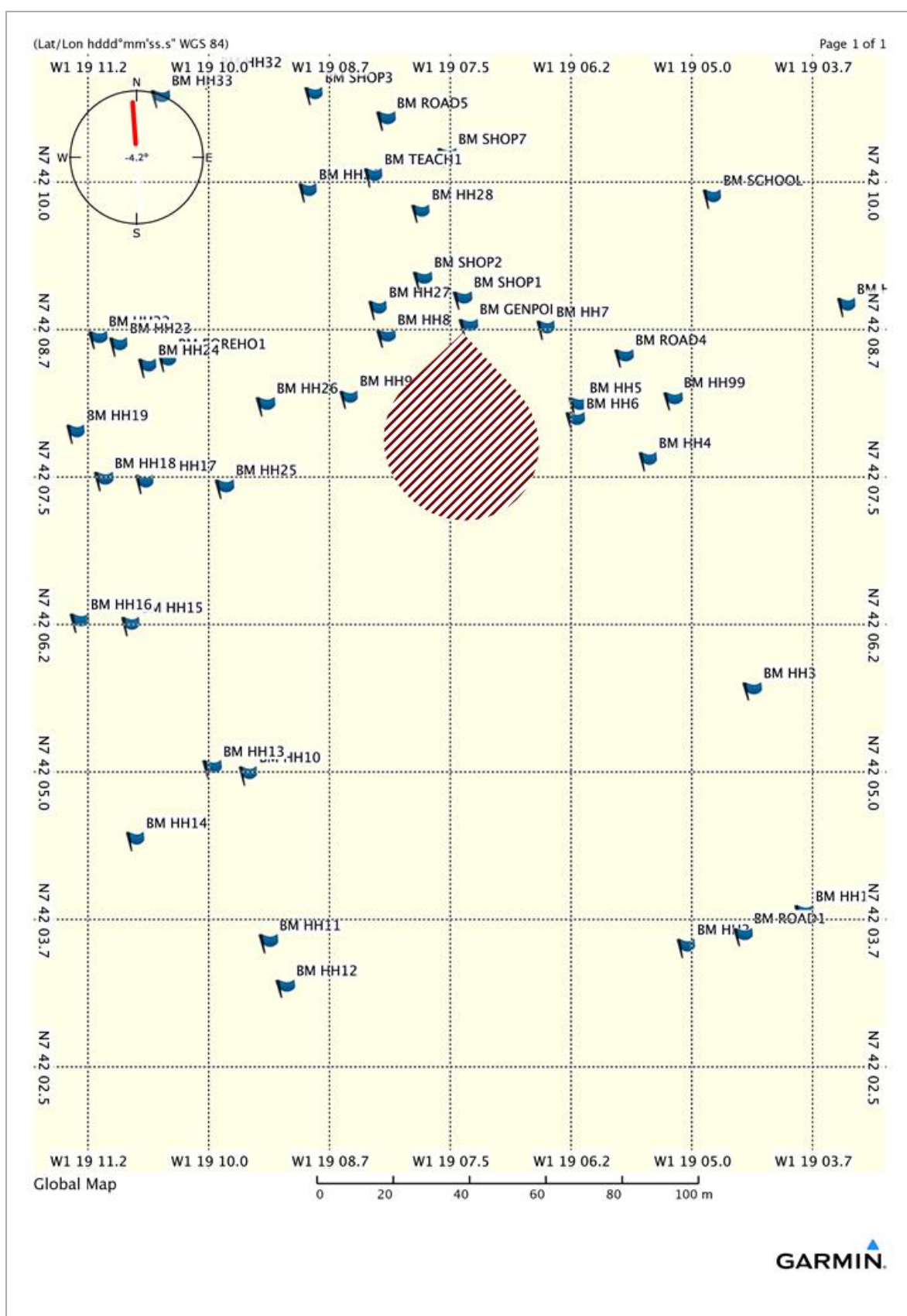


Figura F.8. Àrees aproximades on es poden ubicar les infraestructures del sistema de generació i control de Bomba

Font: Elaboració pròpia amb l'ajuda del software Garmin BaseCamp

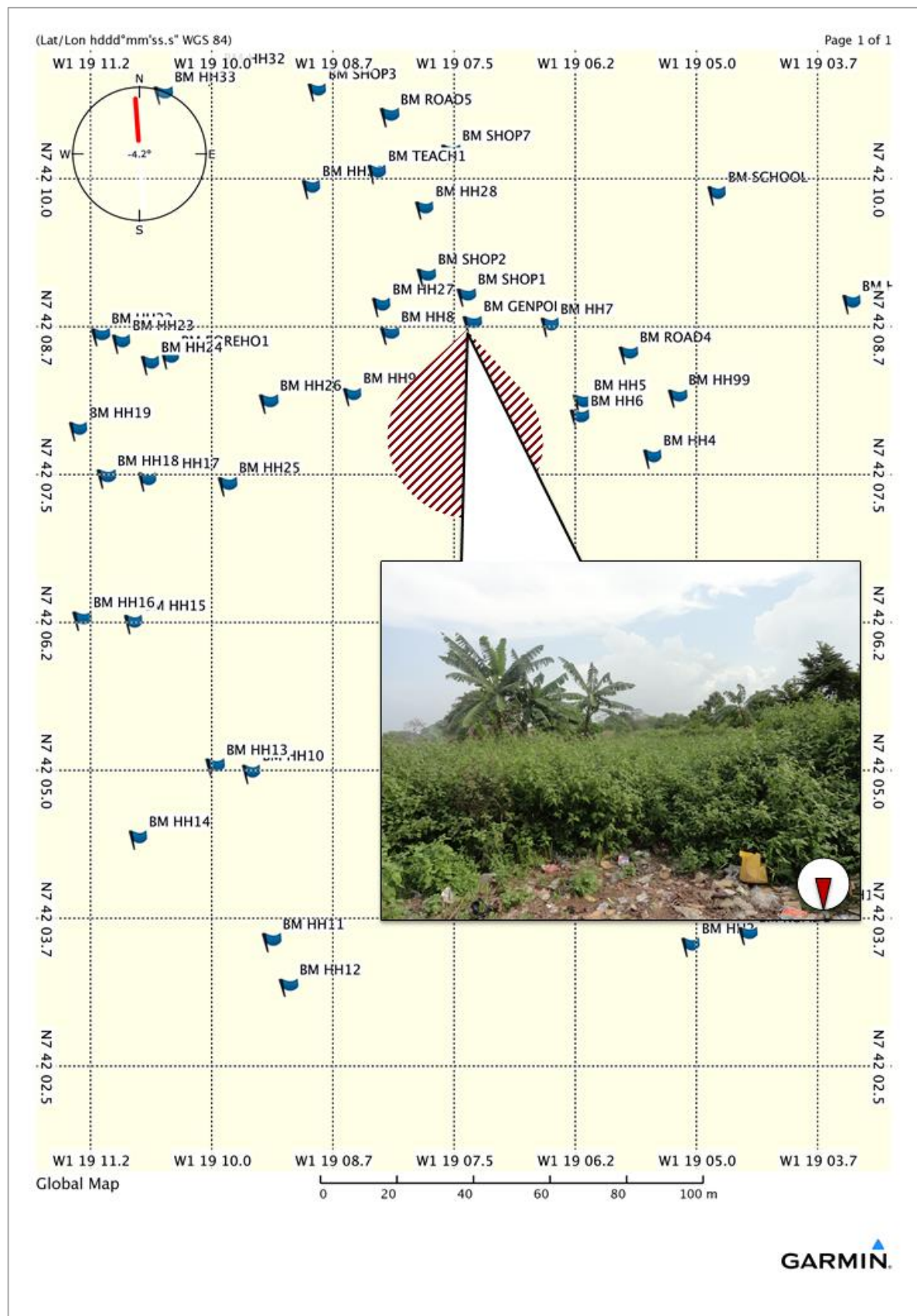


Figura F.9. Fotografies preses des dels punts on es poden ubicar les infraestructures del sistema de generació i control de Bomba

Font: Elaboració pròpia amb l'ajuda del software Garmin BaseCamp

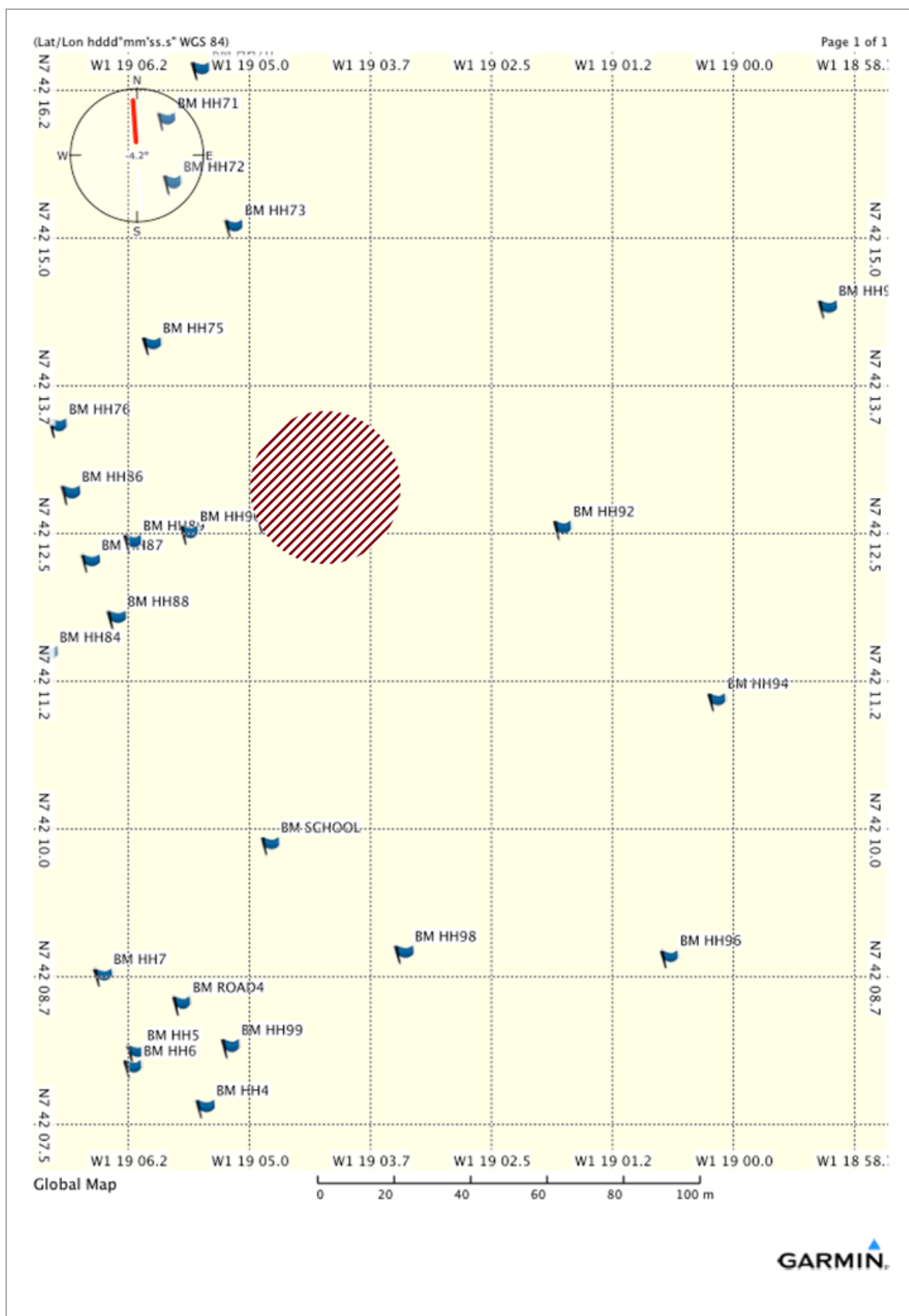


Figura F.10. Àrees aproximades on es poden ubicar les infraestructures del sistema de generació i control de Bomba

Font: Elaboració pròpia amb l'ajuda del software Garmin BaseCamp

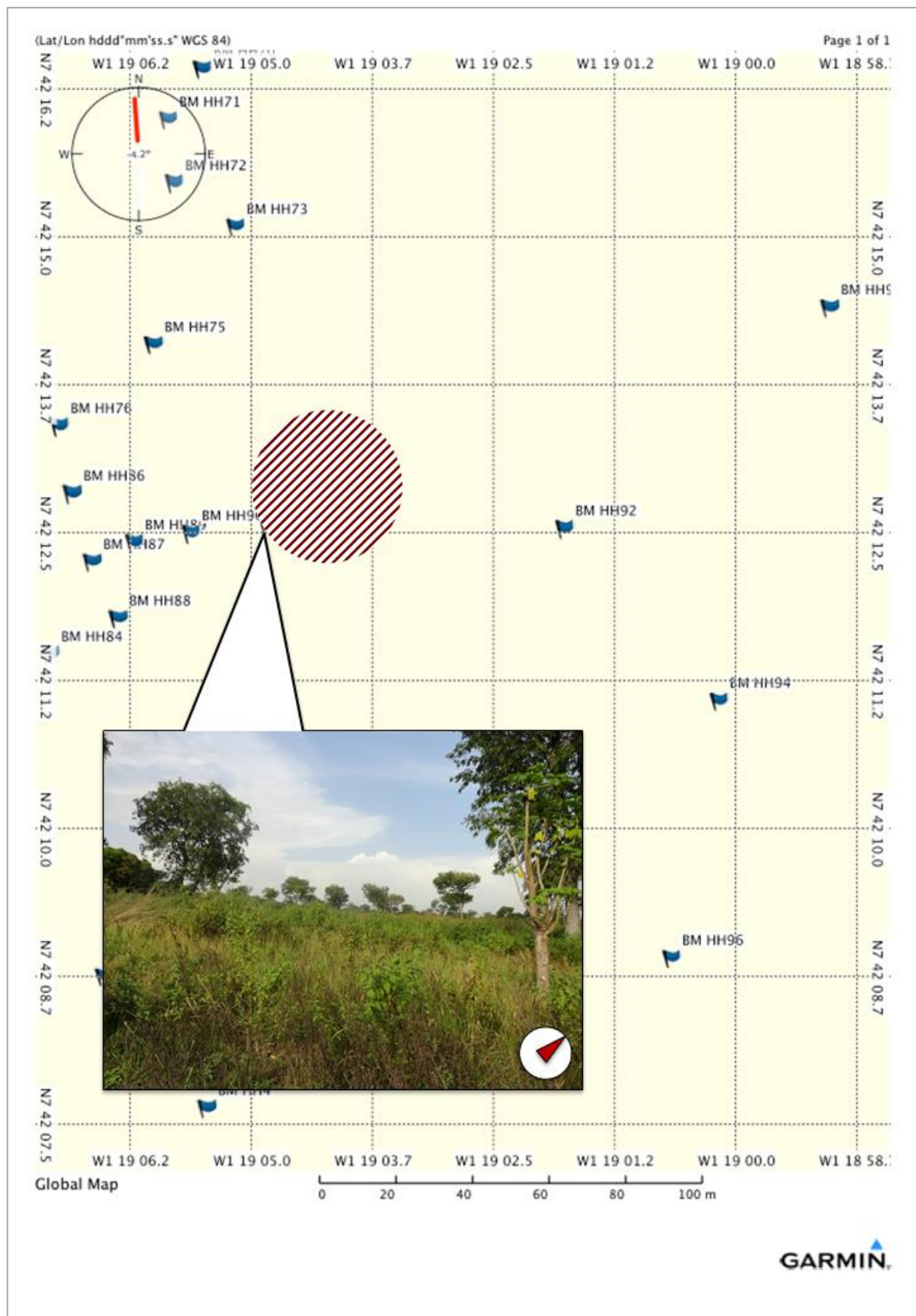


Figura F.11. Fotografies preses des dels punts on es poden ubicar les infraestructures del sistema de generació i control de Bomba

Font: Elaboració pròpia amb l'ajuda del software Garmin BaseCamp

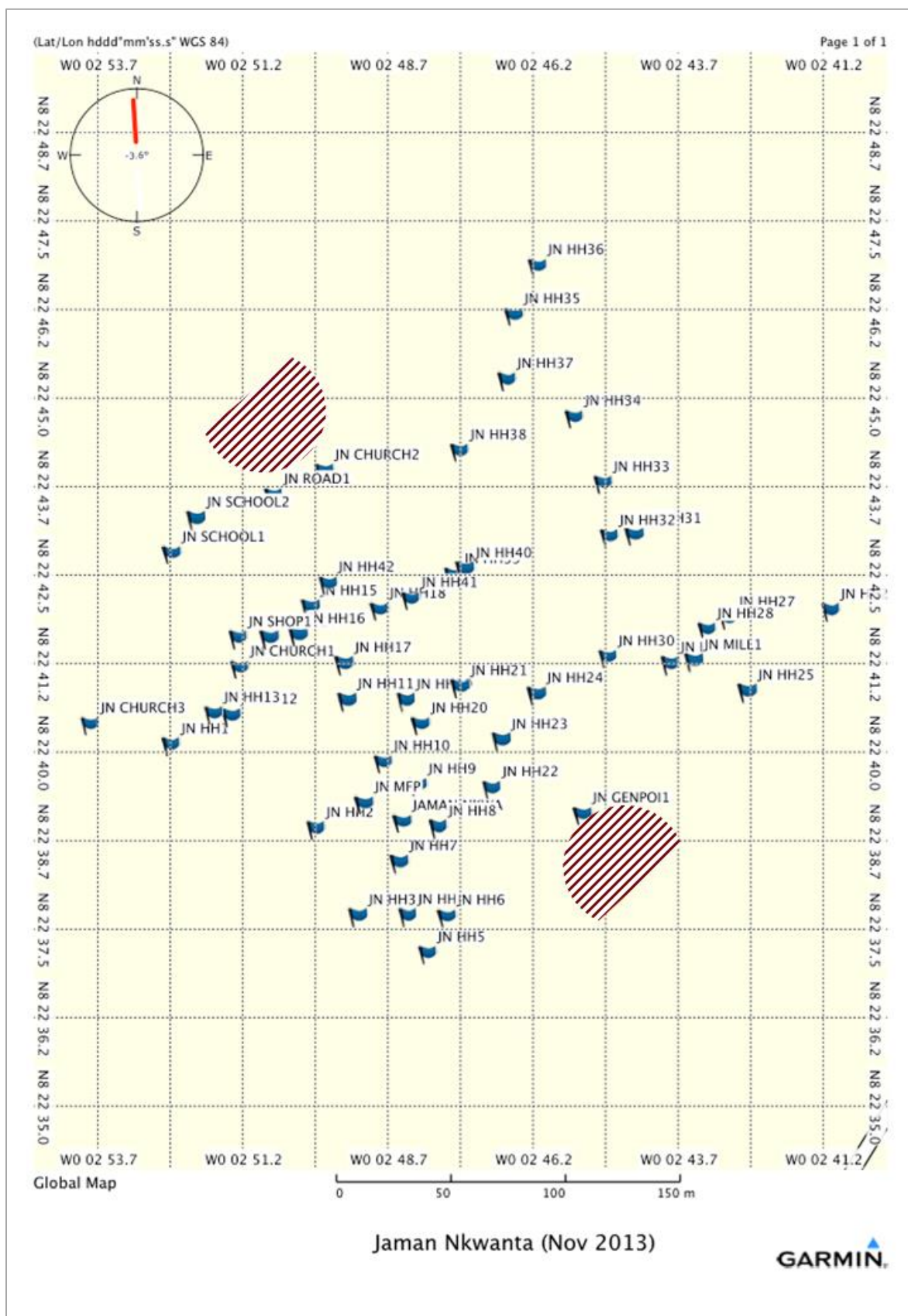


Figura F.12. Arees aproximades on es poden ubicar les infraestructures del sistema de generació i control de Jaman Nkwanta

Font: Elaboració pròpia amb l'ajuda del software Garmin BaseCamp

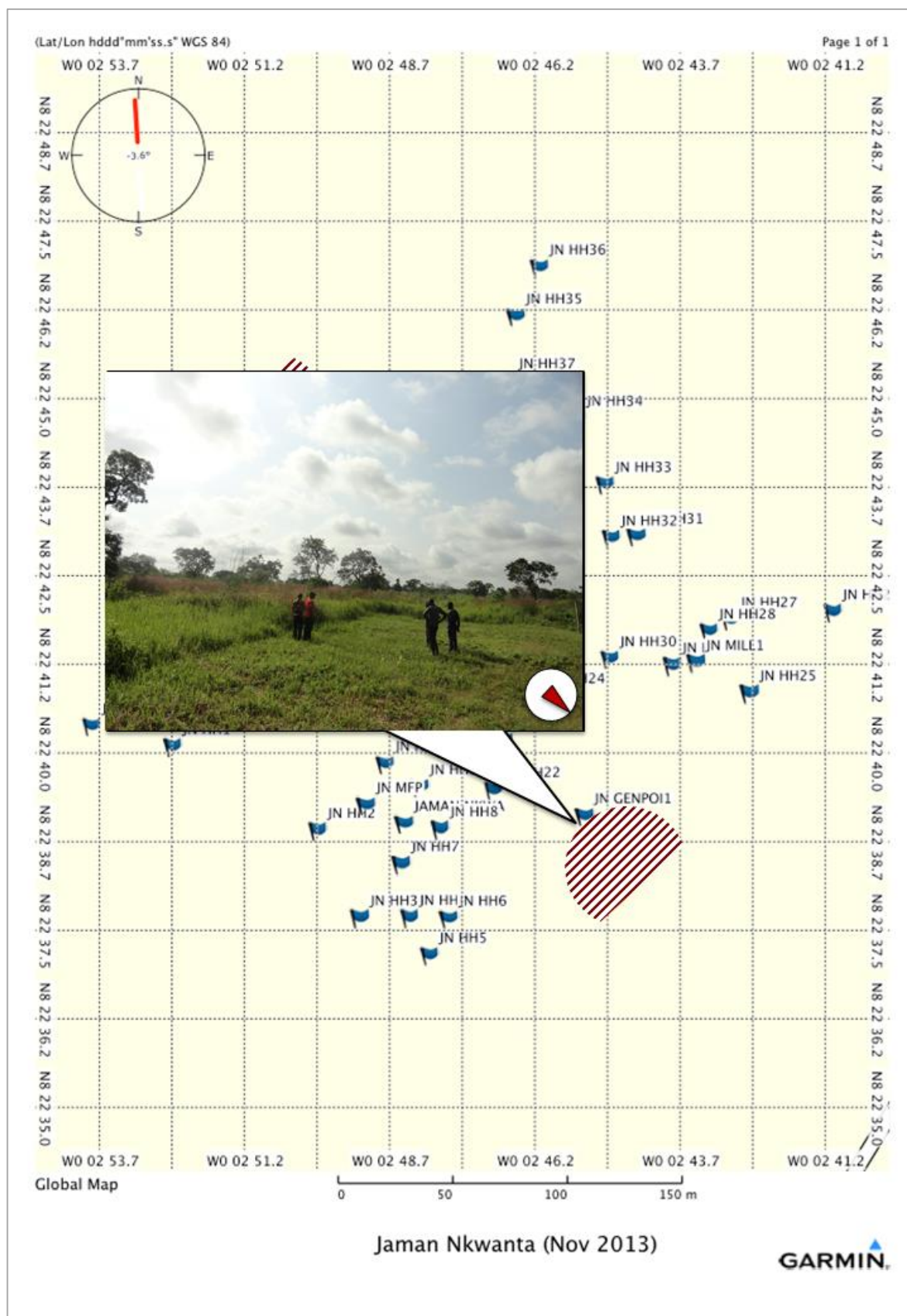


Figura F.13. Fotografies preses des dels punts on es poden ubicar les infraestructures del sistema de generació i control de Jaman Nkwanta
Font: Elaboració pròpia amb l'ajuda del software Garmin BaseCamp

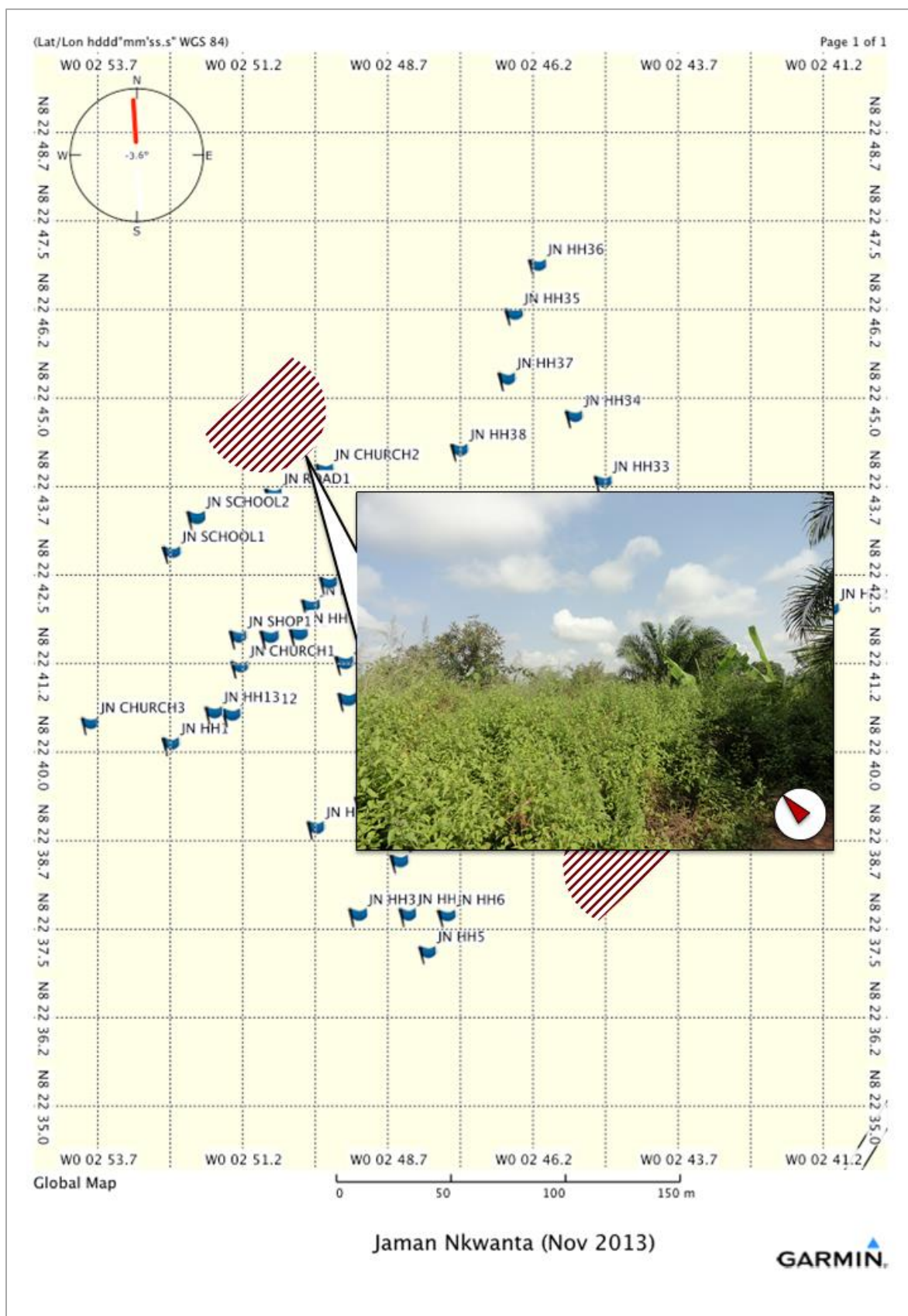
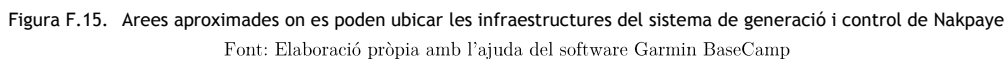


Figura F.14. Fotografies preses des dels punts on es poden ubicar les infraestructures del sistema de generació i control de Jaman Nkwanta

Font: Elaboració pròpia amb l'ajuda del software Garmin BaseCamp



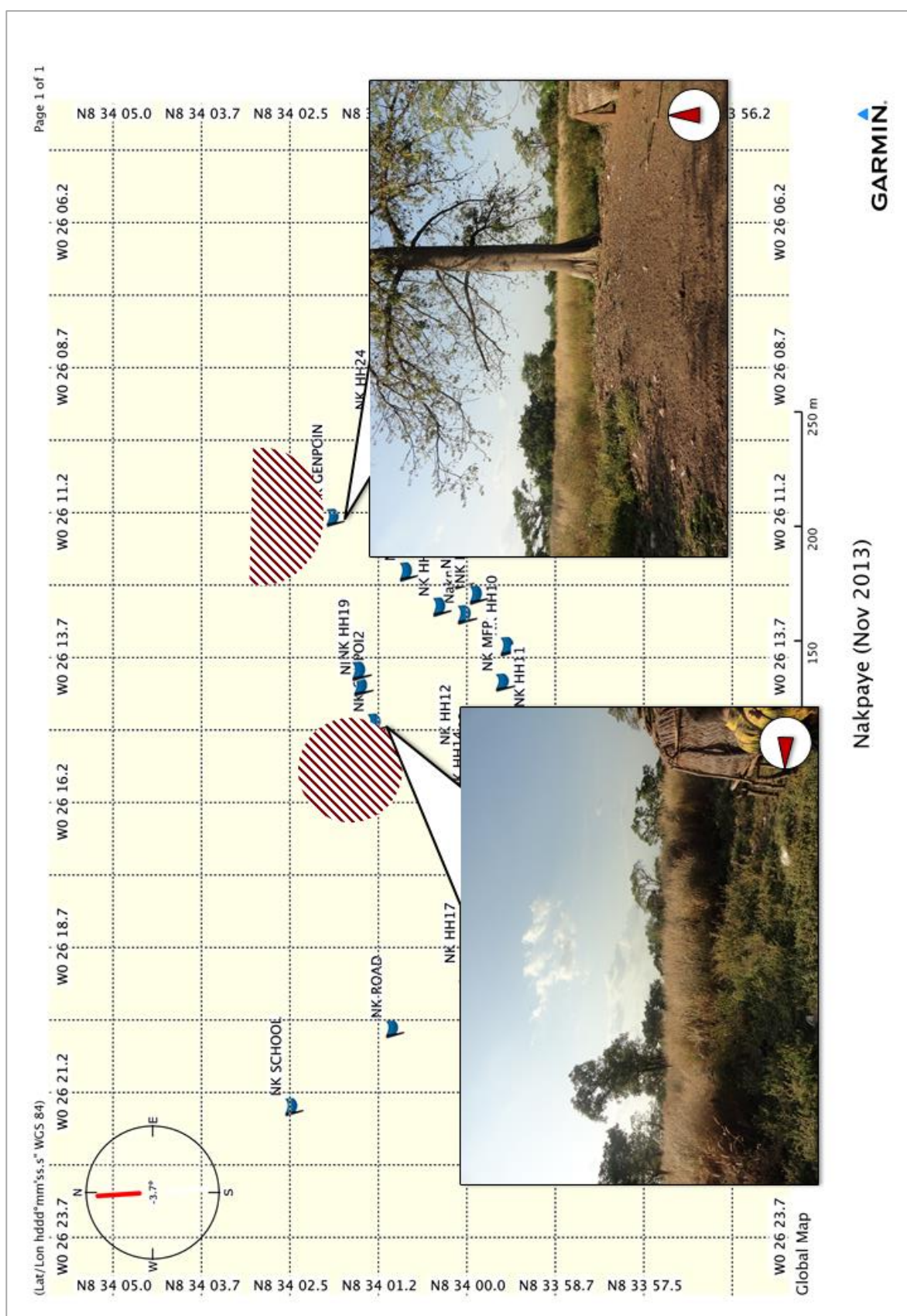
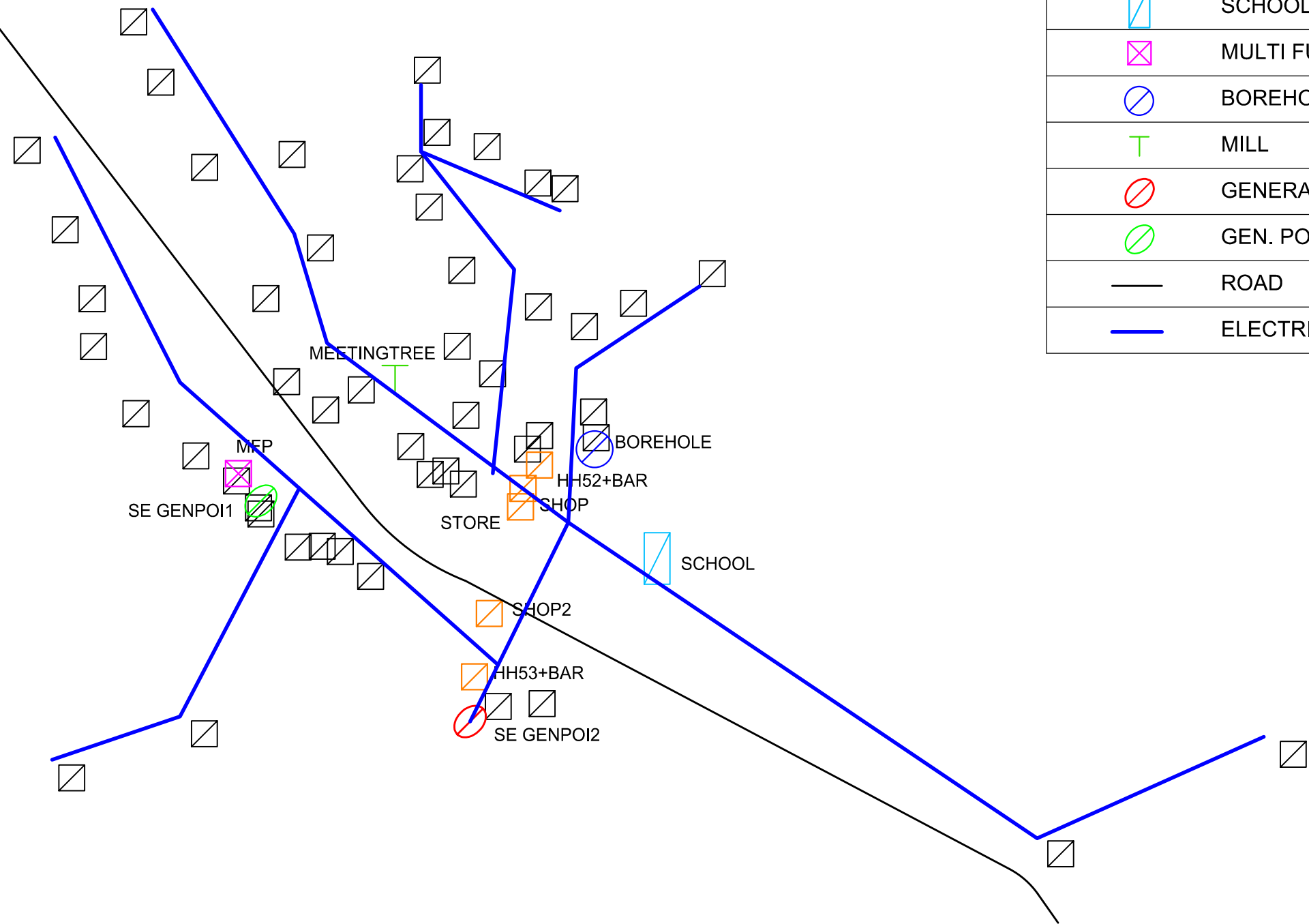
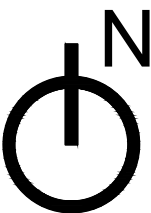


Figura F.16. Fotografies preses des dels punts on es poden ubicar les infraestructures del sistema de generació i control de Nakpaye

Font: Elaboració pròpia amb l'ajuda del software Garmin BaseCamp

ANNEX G. PLÀNOLS AMB LA PROPOSTA DE DISTRIBUCIÓ

- Plànol 1. Proposta de distribució per a Seneso.
- Plànol 2. Proposta de distribució per a Boniafo.
- Plànol 3. Proposta de distribució per a Bompa.
- Plànol 4. Proposta de distribució per a Jaman Nkwanta.
- Plànol 5. Proposta de distribució per a Nakpaye.



REFERENCES	
	HOUSEHOLD
	SHOP / HOUSE&SHOP / STORE
	SCHOOL
	MULTI FUNCTIONAL PLATFORM
	BOREHOLE
	MILL
	GENERATION POINT
	GEN. POINT ALTERNATIVE
	ROAD
	ELECTRIC LINE

Annex G - Plànol 1 - Proposta de distribució per a Seneso

Proposta de l'enginyeria i del model de servei elèctric per a 5 comunitats rurals a Ghana

Màster universitari de Tecnologia per al Desenvolupament Humà i la Cooperació

JOAN CORTÉS OLEA

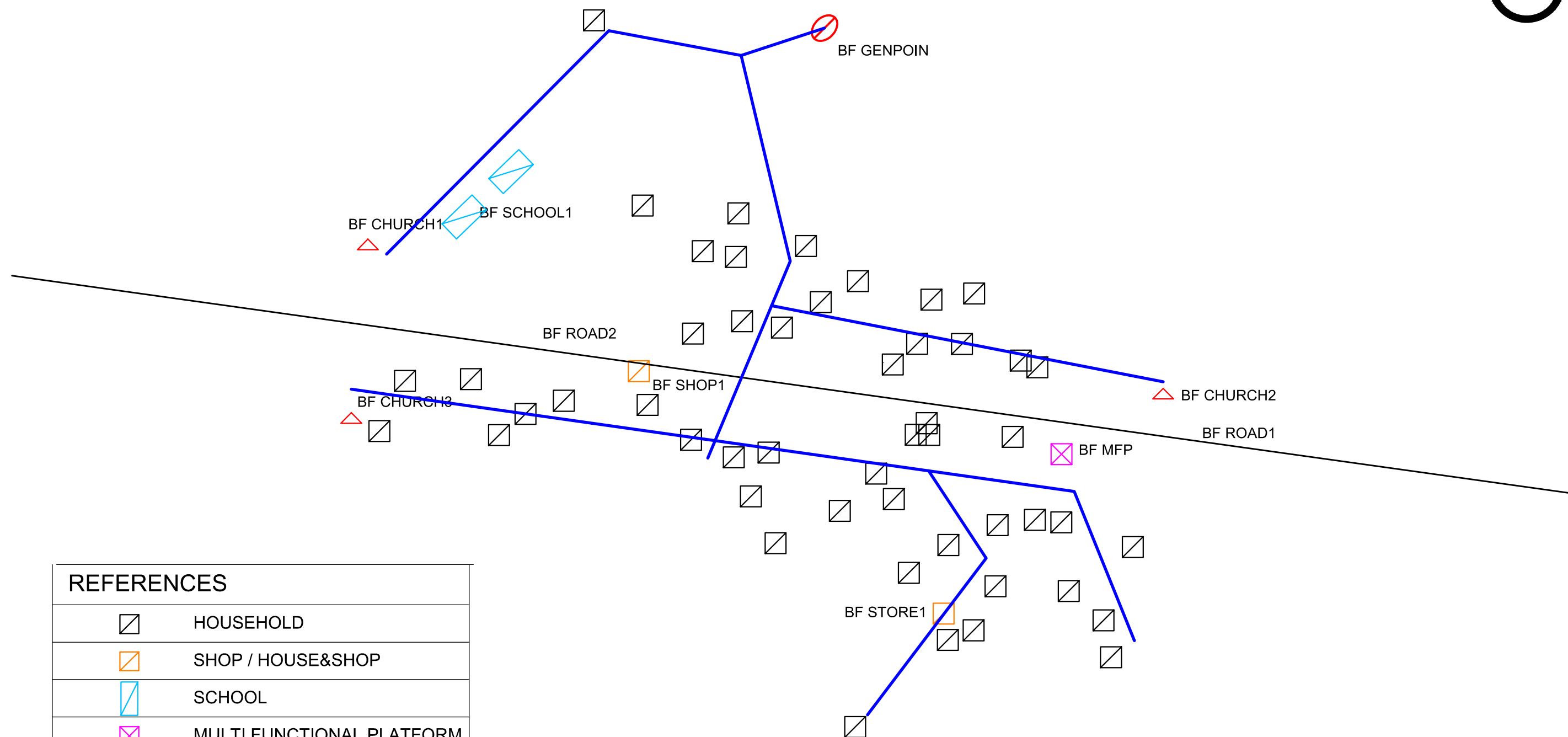
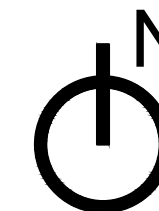
Universitat Politècnica de Catalunya - UPC

DATA

30/11/2014

ESCALA

1 : 2000



REFERENCES



HOUSEHOLD



SHOP / HOUSE&SHOP



SCHOOL



MULTI FUNCTIONAL PLATFORM



MOSQUE / CHURCH



BOREHOLE



GENERATION POINT



GEN. POINT ALTERNATIVE



ROAD



ELECTRIC LINE

Annex G - Plànol 2 - Proposta de distribució per a Boniafo

Proposta de l'enginyeria i del model de servei elèctric per a 5 comunitats rurals a Ghana

Màster universitari en Tecnologia per al Desenvolupament Humà i la Cooperació

JOAN CORTÉS OLEA

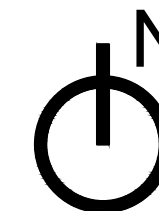
DATA

30/11/2014

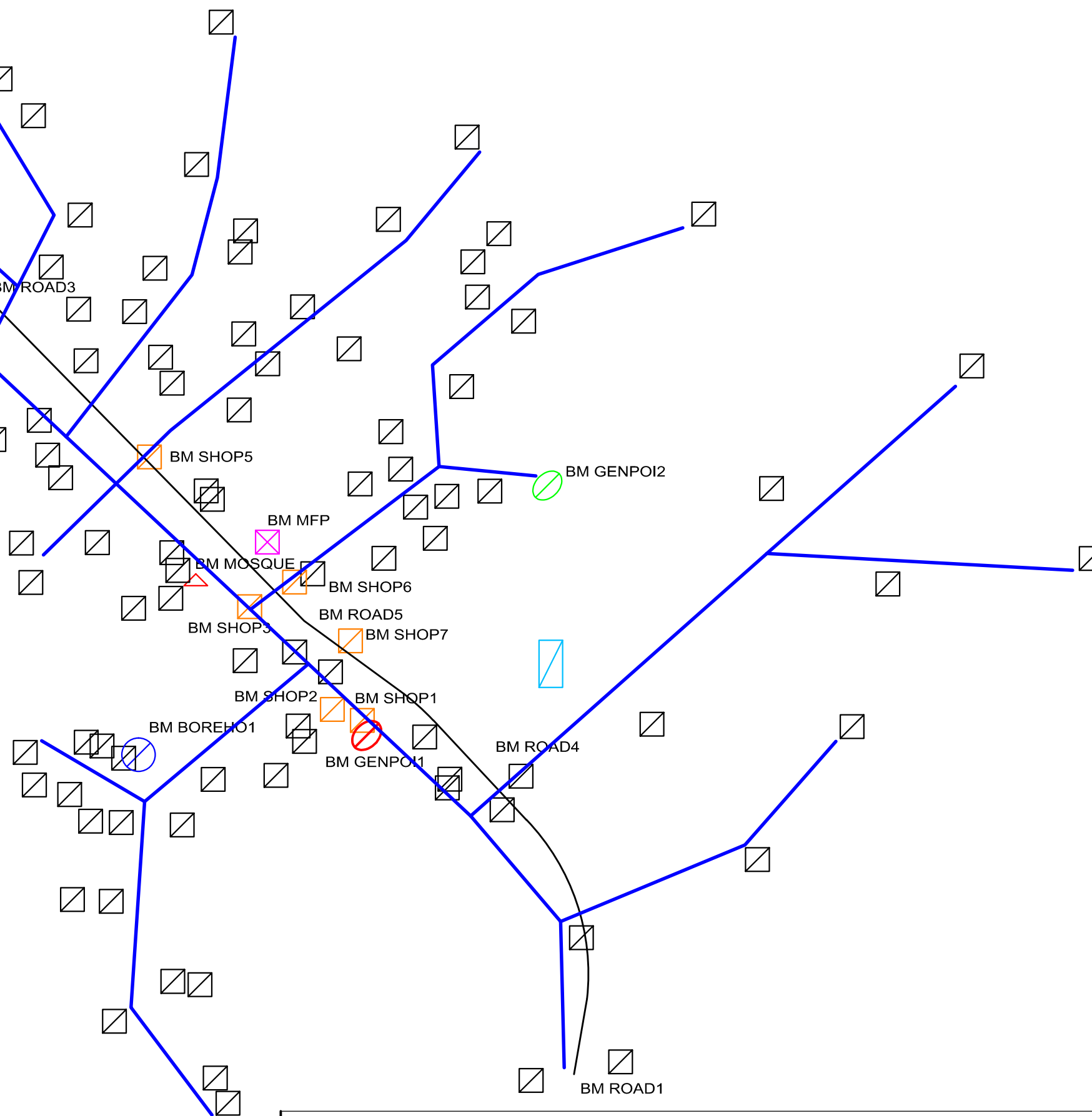
ESCALA

1 : 2000

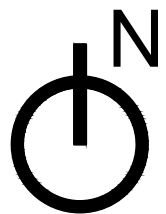
Universitat Politècnica de Catalunya - UPC



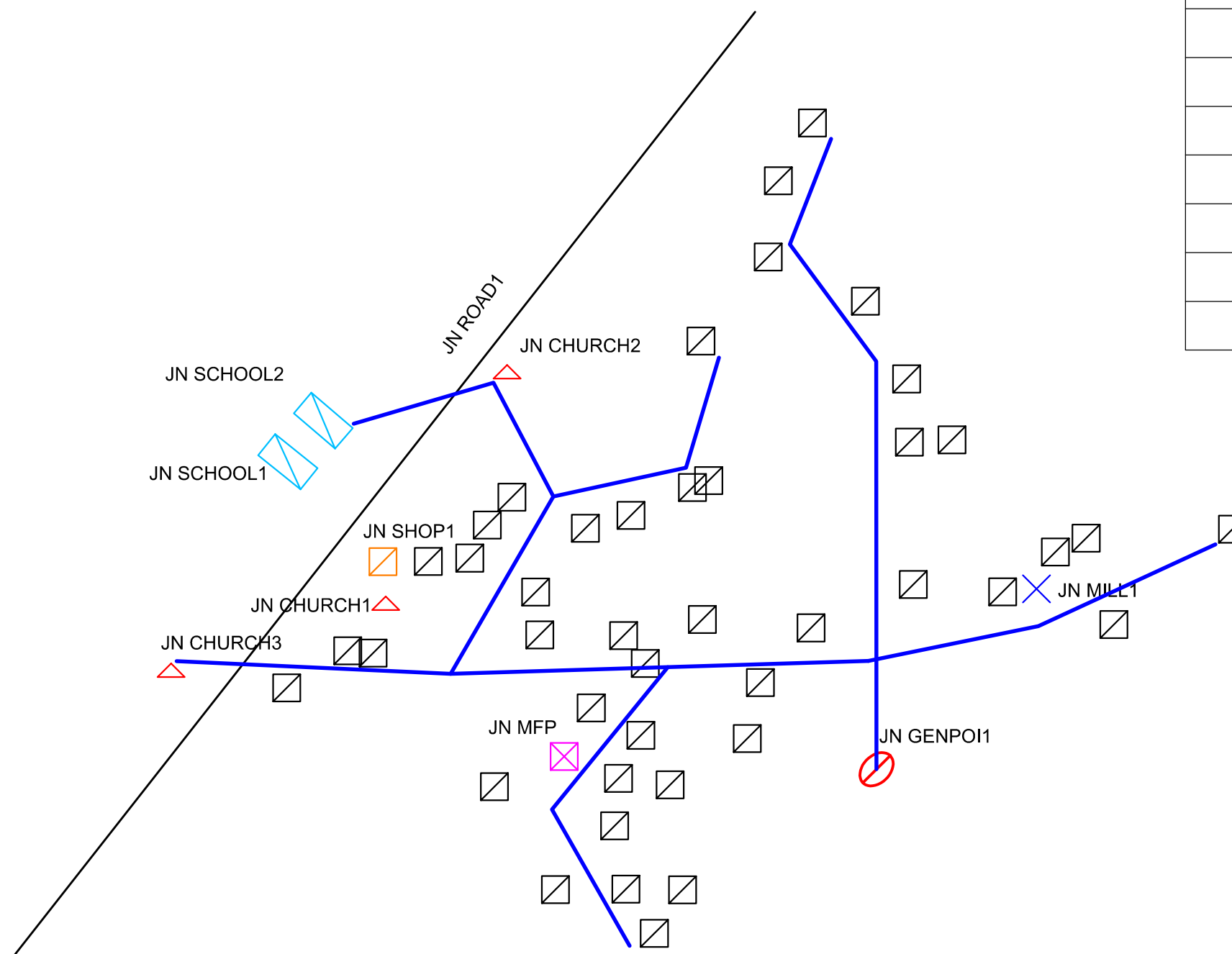
REFERENCES	
	HOUSEHOLD
	SHOP / HOUSE&SHOP
	SCHOOL
	MULTI FUNCTIONAL PLATFORM
	MOSQUE / CHURCH
	BOREHOLE
	GENERATION POINT
	GEN. POINT ALTERNATIVE
	ROAD
	ELECTRIC LINE



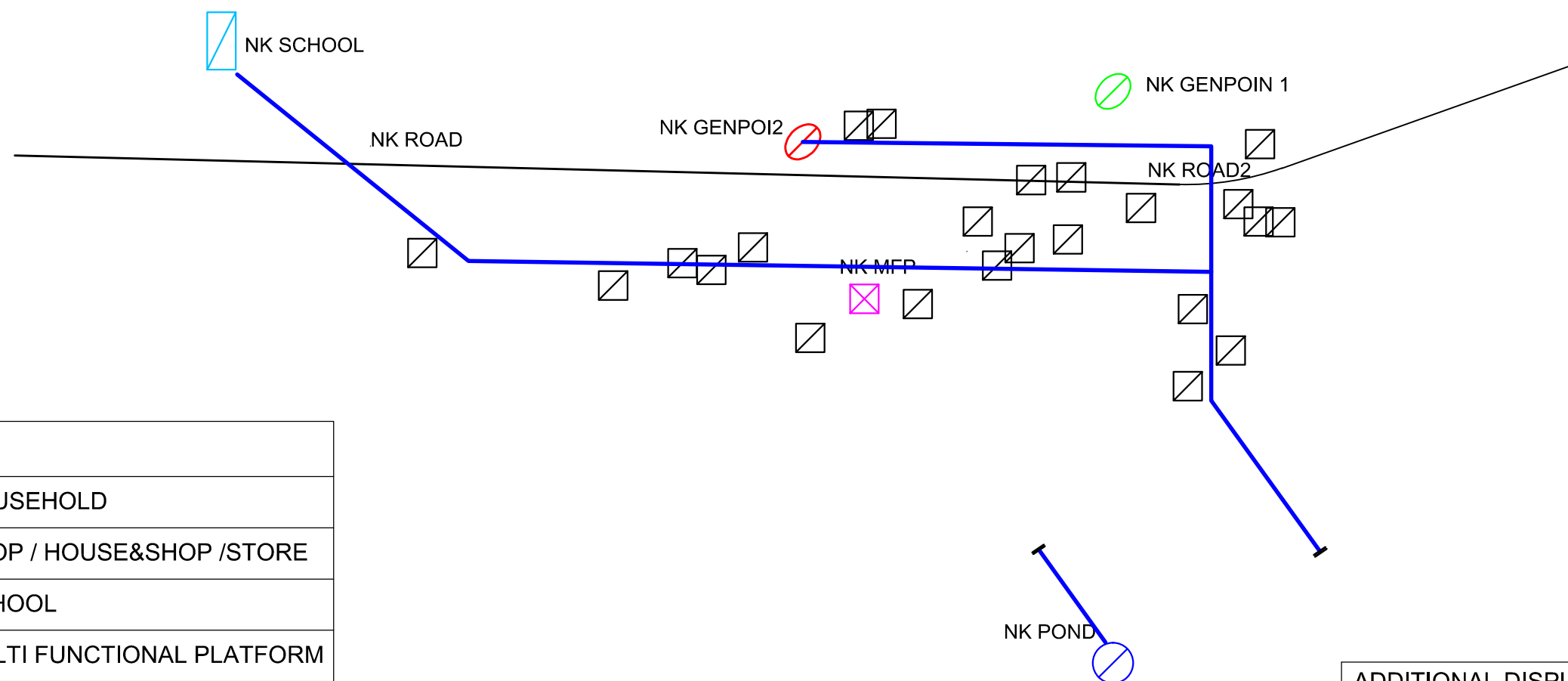
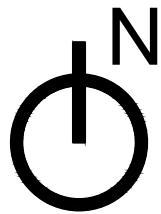
Annex G - Plànol 3 - Proposta de distribució per a Bempa			
Proposta de l'enginyeria i del model de servei elèctric per a 5 comunitats rurals a Ghana			
Màster universitari de Tecnologia per al Desenvolupament Humà i la Cooperació			
JOAN CORTÉS OLEA	DATA	30/11/2014	ESCALA 1 : 2000
Universitat Politècnica de Catalunya - UPC			



REFERENCES	
	HOUSEHOLD
	SHOP / HOUSE&SHOP / STORE
	SCHOOL
	MULTI FUNCTIONAL PLATFORM
	MOSQUE / CHURCH
	MILL
	GENERATION POINT
	ROAD
	ELECTRIC LINE



Annex G - Plànol 4 - Proposta de distribució per a Jaman Nkwanta		
Proposta de l'enginyeria i del model de servei elèctric per a 5 comunitats rurals a Ghana		
Màster universitari en Tecnologia per al Desenvolupament Humà i la Cooperació		
JOAN CORTÉS OLEA	DATA	ESCALA
Universitat Politècnica de Catalunya - UPC	30/11/2014	1 : 2000



REFERENCES	
	HOUSEHOLD
	SHOP / HOUSE&SHOP /STORE
	SCHOOL
	MULTI FUNCTIONAL PLATFORM
	MOSQUE / CHURCH
	MILL
	POND
	GENERATION POINT
	GEN. POINT ALTERNATIVE
	ROAD
	ELECTRIC LINE

ADDITIONAL DISPLACEMENT		
REFERENCIA	NK GENPOINT	
DIF x	273,43m	→
DIF y	72,85m	↓

Annex G - Plànol 5 - Proposta de distribució per a Nakpaye		
Proposta de l'enginyeria i del model de servei elèctric per a 5 comunitats rurals a Ghana		
Màster universitari de Tecnologia per al Desenvolupament Humà i la Cooperació		
JOAN CORTÉS OLEA	DATA	ESCALA
Universitat Politècnica de Catalunya - UPC	30/11/2014	1 : 2000